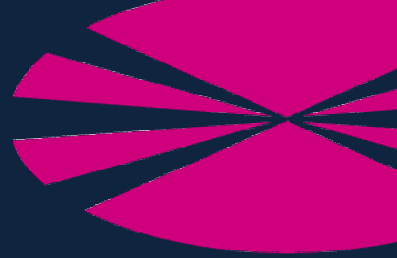


Escuela Universitaria de
Arquitectura Técnica

Universidade da Coruña



Master Universitario en Tecnologías de Edificación Sostenible

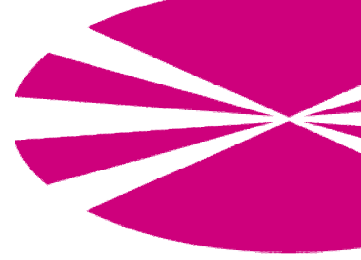
Trabajo Fin de Máster

AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA EN EDIFICACIÓN

Autora: **Noelia Ferreiro Bello**

Director: **Ángel José Fernández Álvarez**

Junio 2014



Master Universitario en Tecnologías de Edificación Sostenible

Trabajo Fin de Máster

AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA EN EDIFICACIÓN

Autora: Noelia Ferreiro Bello

Director: Ángel José Fernández Álvarez

Junio 2014

"Nada es permanente excepto el cambio"

Heinrich Heine

INDICE

INDICE

1. Objetivos, Resumen y Palabras clave	pg. 4
2. Introducción	pg. 8
3. Evolución histórica : los inicios de la robótica.....	pg. 10
3.1. Los precursores	pg.11
3.2. Jacques Vaucanson: el primer robot.....	pg.15
3.3.Johann Wolfgang Ritter: el turco.	pg.18
3.4. Henri Maillart: los dibujos de un muñeco	pg.19
3.5. El inicio de la robótica actual	pg.20
4. Robótica aplicada a la edificación.	pg.26
4.1. ¿Qué es un robot de construcción?	pg.28
4.2. Robots de servicio. Evolución del concepto.....	pg.31
4.3. Robots en la industria y en la edificación. Factores que los diferencian.	pg.34
4.4. Prototipos desarrollados.	pg.39
4.4.1. La primera generación	
▪ Robots para acabado de hormigón	pg.41
▪ Robots para pintado de fachadas.	pg.43
▪ Robots para trabajos interiores.	pg.44
4.4.2. Referencias actuales	
▪ Pictor	pg.48
▪ GGR	pg.49
▪ Brookk y ERO	pg.49
▪ TITAN XI	pg.51
▪ Rover y Spot	pg.51
▪ RTS	pg.53
▪ SAM	pg.54
▪ R-O-B	pg.55
▪ dinROB	pg.57
4.5. Robots humanoides. ¿Los futuros operarios?	pg.59

5. Procesos de automatización en edificación.	pg. 65
5.1. Los pioneros	
▪ SMART System	pg.67
▪ ABCS	pg.71
▪ Big Canopy	pg.74
▪ Amurad	pg.76
▪ T-UP	pg.77
5.2. Referencias actuales	
▪ Impresión 3D	pg.80
▪ Contour Crafting	pg.82
▪ D-Shape	pg.87
▪ Freeform construction.....	pg.88
▪ KamerMaker	pg.89
▪ RCA System	pg.92
▪ Proyecto Termes.	pg.97
▪ ACR (Construcción Robótica Aérea).....	pg.99
▪ Automatización de tareas	pg.102
▪ Construcción automática de fachadas	pg.102
▪ Tiger Stone. Pavimentación automática.	pg.103
5.3. Deconstrucción automatizada	
▪ DARUMA	pg.105
▪ TECOREP System	pg.112
6. Estado de la robótica y automatización en España	pg.116
7. Perspectivas futuras.....	pg.127
8. Conclusiones	pg.130
9. Bibliografía y otras fuentes de consulta.....	pg. 133
10. Glosario	pg.140
11. Lista de figuras	pg.145
12. Contenido del CD	pg.153

**OBJETIVOS, RESUMEN Y
PALABRAS CLAVE**

1

❖ OBJETIVOS

La industria de la construcción soporta la fama de ser una industria antigua, con poca difusión tecnológica y con bajo nivel de industrialización, que a menudo se compara con la industrialización de las fábricas para señalar las oportunidades de innovación y prefabricación en el ámbito de la construcción. A pesar de ello, la importancia de la construcción en la economía no es un tema de debate. Su contribución a la formación de capital fijo, los ingresos y empleados creados hacen que sea una de las industrias más importantes (aunque no atravesase por su mejor momento), por esto es necesario conseguir que sea competitiva introduciendo nuevas tecnologías que mejoren la productividad del sector.

La industrialización no sólo crea nuevas oportunidades, sino que también obliga a la industria de la construcción a adaptarse a nuevas prácticas. Investigadores como Gerhard Gimscheid¹ sostienen que la práctica industrial más aplicada es la prefabricación, que permite a la industria mejorar la gestión de los materiales y la energía. Que por otra parte, es una condición indispensable para considerar a la construcción industrializada como construcción sostenible, un factor que según Emilia Van Egmod², es imprescindible para que la automatización del sector sea exitosa.

La construcción sostenible aboga por la creación de un entorno saludable, basado en la eficiencia de los recursos y los principios ecológicos (Kibert, 2003³). Pero, dado que los principios propuestos para la construcción sostenible incluyen: reducir, reutilizar y reciclar los recursos, ¿es posible la construcción sostenible mediante procesos automatizados y robots?

Para poder responder a esta pregunta, es imprescindible conocer el estado del arte de la automatización y robótica en el sector de la construcción. Existe una amplia bibliografía en la que se puede encontrar información sobre los primeros prototipos desarrollados en el ámbito de la industria, sin embargo para poder obtener datos específicos del sector de la construcción se debe recurrir a publicaciones extranjeras (Japón) que tampoco incluyen los nuevos prototipos, ya que se han quedado obsoletas.

Por ello, el objeto de este trabajo, es presentar una monografía de compilación, que albergue un recorrido desde los primeros autómatas contruidos hace más de 3000 años hasta los prototipos más novedosos, con la que poder ofrecer una visión genérica del pasado, presente y futuro de la automatización en el sector de la edificación.

Siendo conscientes de las aplicaciones, ventajas e inconvenientes del empleo de esta tecnología, se podrá ofrecer una conclusión que abarque una visión global del nivel de automatización actual y que a su vez proporcione respuestas sobre la conexión entre automatización y sostenibilidad.

¹ Gerhard Gimscheid. Prof. Dr-Ing. *Director of Institute for Construction Engineering and Management Zurich.*

² Emilia Van Egmod. *Senior Lecturer and Researcher, Innovation, Tecnology and Knowledge Transfer for Sustainable Construction.* Universidad de Eindhoven. Países Bajos.

³ Kibert Charles. *Sustainable Construction at the start of the 21 Century* . Special Issue Article The Future of Sustainable Construcion. Mayo 2003.

❖ RESUMEN

La industria de la construcción no ha sido un campo favorable para la aplicación de tecnologías robóticas. Factores como la dispersión del trabajo, la variedad de oficios o la actitud conservadora, fueron los causantes del retraso de la aparición del primer robot de construcción hasta 1983, veinte años más tarde del desarrollo del primer robot industrial (1960).

La década de los 80 supuso un gran impulso para el desarrollo de tecnología robótica aplicada a edificación, cuando los grandes contratistas japoneses comienzan a invertir en robots de construcción. Fue entonces cuando los prototipos de laboratorio salieron al mercado, y se dan a conocer los primeros robots de servicio: robots de acabado de hormigón, de pintado de fachadas o robots de trabajo interior. Con los años la inversión en I+D de las empresas y grupos de investigación se incremento notablemente y hoy en día nos encontramos con robots capaces de llevar a cabo una demolición selectiva, robot ERO, o incluso robots para producción *just in time*, como es el caso de R-O-B.

La evolución continúa día a día y cabe preguntarse, si llegará al punto en que los iniciales robots de servicio se convertirán en los próximos operarios de la construcción. En la actualidad ya contamos con exoesqueletos parciales, e incluso completos, que ayudan al operario en la ejecución de las tareas más pesadas. Ejemplos como el *Power Assit Glove* o el *Robot Suit Hal*.

A la vista de las mejoras de la productividad incrementada por el empleo de robots, la automatización de procesos ha ido ganando puestos en el sector de la edificación. Desde que en 1993 apareciese el primer sistema de construcción automatizada (*SMART*) muchos han sido los avances de esta tecnología hasta el punto en que a día de hoy se aplican las técnicas de impresión 3D a la fabricación de viviendas (*Contour Crafting*).

Cabe señalar que no sólo existen sistemas de construcción automatizada, sino que también existen sistemas de demolición totalmente automatizada como pueden ser el *Daruma* o *Tecorep*.

No podía faltar la referencia a las nuevas tecnologías robóticas aplicadas a la construcción, proyectos como *TERMES* o *ACR* presentan una nueva forma de construcción dinámica en la que los pequeños robots interactúan y cooperan para la construcción de estructuras.

Palabras clave:

Robótica, Robots de Construcción, Robots de servicio, Sistemas automatizados, Deconstrucción, Robots humanoides.

❖ ABSTRACT

The construction industry has not been a favorable field for the application of robotic technologies . Factors such as dispersal of working , the variety of trades or conservative , were responsible for the delay in the appearance of the first robot construction until 1983 , twenty years later developmental the first industrial robot (1960).

The 80s was a great boost for the development of technology robotics for construction, when big Japanese contractors begin to invest in building robots . That is when the laboratory prototypes came onto the market and were presented the first service robots : concrete finishing robots, painted facades robots or inside job robots. Over the years the investment in R & D of research groups and companies significantly improved and today we find robots capable of performing selective demolition (ERO) production robots or even "just in time" robots , as is the case ROB .

The development continues day by day and the question is if it will reach the point where the initial service robots will become the next construction workers. At present we already have partial and even complete exoskeletons that help the operator in the execution of the heavier tasks . Examples like the Power Assist Glove or Robot Suit Hal.

In the light of considerable improvements by the use of robots, process automation has been gaining ground in the building sector. Since the first automated construction system (SMART) appeared in 1993, there have been many advances in this technology to the point that today 3D printing techniques are applied to the manufacture housing (Contour Crafting).

Should be noted that there are not only automated build systems, but also there are fully automated demolition systems such as Tecorep or Daruma.

We could not miss the high benchmark to new robotic technologies applied to construction; projects as Termes or ACR present a new form of dynamic construction which that small robots interact and cooperate to build structures.

Keywords

Robotics, Contruction robots, Service robots, Automated system, Demolition, Humanoid robots.

INTRODUCCIÓN

2

❖ INTRODUCCIÓN

RAC

La robótica hoy en día, es un concepto de dominio público, la mayor parte de la gente concibe una idea de lo que es la robótica, conoce sus aplicaciones y potencial aunque desconocen su origen y sus múltiples capacidades.

La imagen del robot como máquina a semejanza del ser humano ha prevalecido en las culturas desde hace muchos siglos. El afán por fabricar máquinas capaces de realizar tareas independientes ha sido una constante en la historia, a través de la que se han escrito infinidad de ingenios, antecesores de los actuales robots.

Un robot no es más que una máquina controlada por ordenador y programada para moverse, manipular objetos y realizar trabajos a la vez que interacciona con su entorno. Los primeros robots creados en la historia no tenían más que un solo fin: entretener a sus dueños. Sin embargo sus creadores pronto se percataron de que estos primeros autómatas podían imitar movimientos de los humanos de forma mecanizada. De esta forma se consiguió automatizar y mecanizar algunas de las labores más sencillas de la época.

El gran impulso en el desarrollo de la robótica se remonta al siglo XVII en la industria textil, donde se diseñaron los primeros telares controlados por tarjetas perforadas. Este impulso produjo una innovación robótica que con el paso de los años dio lugar a lo que se conoce como fabricación automatizada.

La fabricación automatizada surgió de la íntima relación entre las fuerzas económicas e innovaciones técnicas como la división del trabajo, la transferencia de energía y la mecanización de las fábricas.

La automatización consiste, principalmente, en la aplicación de diferentes tecnologías para controlar y monitorear un proceso, máquina o dispositivo, que por lo general cumple funciones o tareas repetitivas, haciendo que opere automáticamente, reduciendo al mínimo la intervención humana.

La automatización de procesos se implantó con éxito en la industria automovilística del siglo XX, cuando Henry Ford contribuyó a la revolución global de la automatización con la implantación de la cadena de montaje.

A la vista de que la automatización de tareas supone un aumento de la producción y reducción de tiempo y costes, su expansión hacia la mecanización de todo tipo de industrias es inminente.

El avance y el nivel de automatización de tareas y robótica aplicada al sector de la construcción se expone en los siguientes apartados de este trabajo.

**EVOLUCIÓN HISTÓRICA.
LOS INICIOS DE LA ROBÓTICA**

3

EVOLUCIÓN HISTÓRICA: LOS INICIOS DE LA ROBÓTICA

El ser humano siempre ha buscado la creación de herramientas y máquinas que le facilitasen la realización de tareas peligrosas, pesadas o repetitivas. En los últimos tiempos, la aparición de “máquinas” altamente sofisticadas ha dado lugar a un gran desarrollo de la automatización⁴ y el control de las tareas. Para dar a conocer el estado en el que actualmente nos encontramos en este ámbito debemos señalar los hitos más representativos que nos han llevado al nivel de desarrollo actual.

3.1. LOS PRECURSORES.

Los primeros autómatas de la historia datan aproximadamente del año 1300 a.C, cuando el faraón Amenhotep III manda construir su templo mortuario en Luxor, en cuya entrada se colocaron dos colosos de unos 18 metros de altura que fueron tallados sobre rocas traídas expresamente desde Gebel, por orden del arquitecto del templo, Amenhotep hijo de Hapu.

Por si acaso no fuesen lo suficientemente amenazadores, para preservar el descanso eterno del faraón, una de ellas estaba concebida para emitir sonidos al amanecer: al salir el sol del desierto, el agua que había en su interior se evaporaba y salía por unas fisuras estratégicamente calculadas para generar un sonido parecido al habla. [Fig.1]

Durante siglos el hombre ha construido máquinas que imitasen las partes del cuerpo humano; los antiguos egipcios unieron brazos mecánicos a las estatuas de sus dioses. Estos brazos mecánicos eran operados por sacerdotes, quienes clamaban que el movimiento de éstos era inspiración de sus divinidades.



Fig.1. Imagen de las estatuas que preservaban el templo de Amenhotep.

Consulta web <http://www.historiaautomatas.blogspot.es>

⁴ Automatización: acción y efecto de automatizar según diccionario R.A.E. Aplicado al contexto de este trabajo: sistema capaz de ejecutar acciones previamente establecidas sin necesidad de intención humana.

Años más tarde, hacia el 500 a.C. el imperio chino comienza a dejarnos también sus primeros autómatas. King-su Tse llega a fabricar una urraca de madera y bambú que movía las alas.

En la Grecia de Aristóteles, aparecieron los primeros mecanismos que se movían a través de dispositivos hidráulicos, poleas y palancas. Arquitas de Tarento, nacido en la Italia dominada por los griegos hacia el 430 a.C, fue un matemático y filósofo al que se le atribuye, además de la invención del tornillo y la polea, la creación de un curioso juguete de madera, hueco y con forma de paloma que pendía de una cuerda en el techo. Contaba con un pequeño depósito de agua que era calentada por una llama, al hervir el agua, el vapor que se producía se escapaba por unos diminutos orificios en la parte trasera del pájaro, simulando de esta forma el vuelo de la paloma.

Un ejemplo más del ingenio de los grandes pensadores griegos es Herón de Alejandría, que sobresalió sobre los demás al conseguir que las puertas de los templos se abriesen solas, que se escuchara música celestial al entrar o que los dioses bailaran dentro de un altar. No en vano sus contemporáneos le apodaron “El Mago”.

El mecanismo de apertura de las puertas del Templo de Herón [Fig.2] se basaba en un simple sistema donde el fuego calienta el aire, que se expande aumentando la presión y empuja el agua llenando el contrapeso que acciona el sistema de apertura de la puerta. Cuando el aire se vuelve a enfriar, la presión disminuye y el agua vuelve a ocupar su lugar, el contrapeso se vacía y las puertas se cierran.

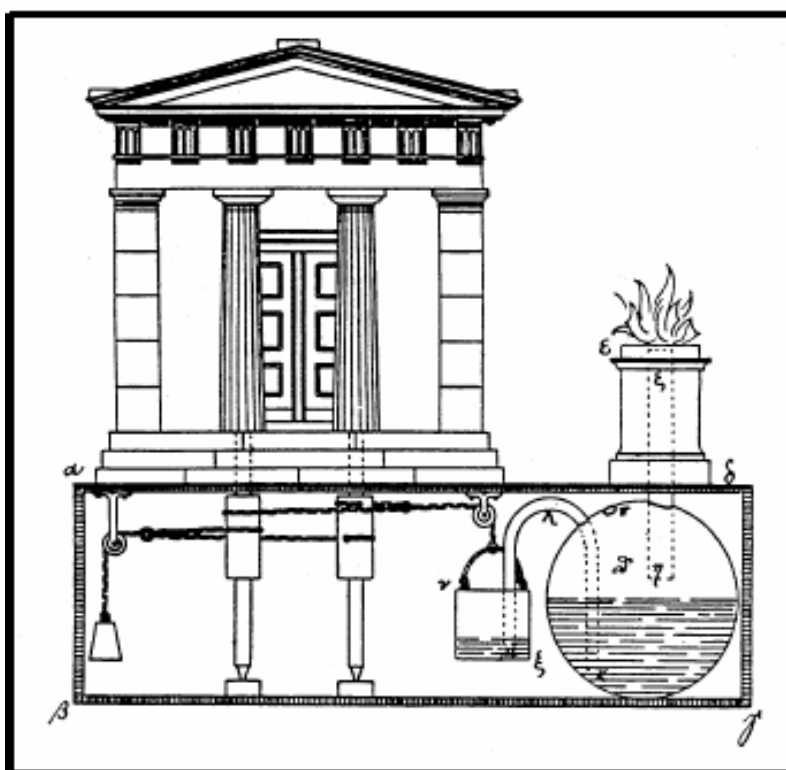


Fig.2. Mecanismo de apertura automática de la puerta del templo de Herón.

Consulta web [http:// www.biografica.info](http://www.biografica.info)

Los relojes de agua heredados de los egipcios, también conocidos como *clepsidras*⁵, fueron muy apreciados por los griegos, por ello los mejoraron, no solo para que marcaran el discurrir del tiempo sino verdaderamente la hora. De esta forma Ctestebio⁶ añadió una boya flotante con una estatuilla que al subir el nivel del agua, iba marcando la hora. Además el torno donde se iban señalando las horas giraba según el día y época del año, ya que en verano los días son más largos. [Fig.3]

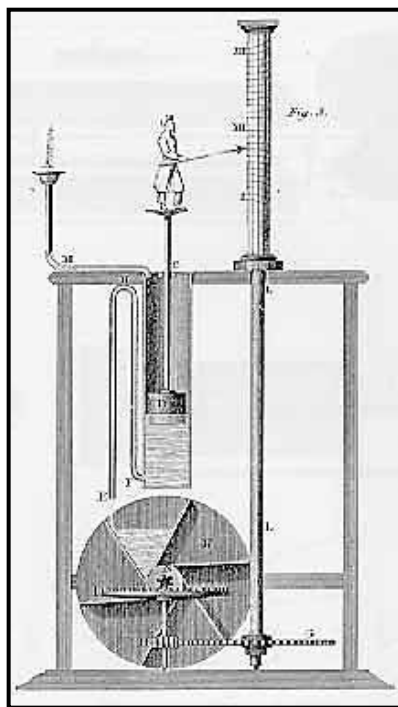


Fig. 3. Imagen del mecanismo del reloj de agua de Ctestebio. Consulta web <http://www.historiaautomatas.blogspot>

Para conseguir que se autorregulara y además girara automáticamente el torno una vuelta cada año, simplemente añadió un sifón y unas ruedas dentadas [Fig.3]. Cuando el flotador llegaba al punto más alto, que coincidía con la curva del sifón, el agua se escapaba por ésta hacia una rueda inferior dividida en compartimentos. Debido al peso del agua, la rueda giraba, evacuando el agua y moviendo su eje central que estaba unido a una serie de ruedas dentadas que acababan girando el cilindro donde estaban anotadas las horas. De esta manera, calculando el número de dientes de cada ruedecilla, se conseguía que el torno volviera a su punto inicial cada 365 días.

Por esto, los relojes pueden considerarse como las máquinas antiguas más perfectas, muy cercanas al concepto de automatismo y, consecutivamente, a la robótica. Es frecuente hallar relojes que incluyen figuras humanas móviles que se mueven con el orden de las horas. El reloj de la catedral de Munich y el reloj del Ánker de Viena son buenos ejemplos. El Gallo de Estrasburgo, el robot más antiguo que se conserva en la actualidad, funcionó desde 1352 hasta 1789. Formaba parte del reloj de la catedral y, al dar las horas, movía el pico y las alas.

⁵ Clepsidra o reloj de agua es cualquier mecanismo capaz de medir el tiempo mediante el flujo regulado de un líquido hacia o desde un recipiente graduado.

⁶ Ctestebio, ingeniero, pensador y filósofo griego del siglo III a.C. Mentor del también célebre ingeniero Herón.

En España, el Papamoscas de la catedral de Burgos, construido en el siglo XVI, formado por un hombre mecánico que se mueve con los cambios horarios que funciona aún hoy día.

Algunos de los autómatas más famosos del Medievo fueron creados por Leonardo Da Vinci (1542-1519). Hacia 1515, desarrolló un león mecánico de tamaño real capaz de caminar. De acuerdo con los testimonios el “animal” era capaz de moverse por sí solo, y cuando se golpeaba su costado con un látigo dejaba caer de su vientre una lluvia de lirios, símbolo de la monarquía transalpina. [Fig. 4]



Fig. 4. Reproducción león Leonardo Da Vinci. Consulta web [http:// www.mariotaddei.net](http://www.mariotaddei.net)

Sin embargo, el diseño máspreciado del famoso inventor es la reproducción de un caballero de hojalata [Fig. 5] , que aunque no fue desarrollado por el autor si ha sido recreado siguiendo fielmente las indicaciones halladas en sus bocetos por el ingeniero Mario Taddei (Taddei 2007).



Fig. 5. Reproducción del Caballero Leonardo Da Vinci. Consulta web <http://www.mariotaddei.net>

3.2. JACQUES VAUCANSON. EL PRIMER ROBOT.

Jacques Vaucanson (1709-1782) fue un célebre ingeniero e inventor francés al cual se le atribuye la invención del primer robot y el primer telar automatizado.

Aunque en sus comienzos se interesó por la creación de anatomías móviles, que nunca llegaron a término, por falta de medios, soñaba “con construir maquinas capaces de excitar la curiosidad del público”. Intereses que quedan ampliamente demostrados con su primera creación: un autómata capaz de tocar la flauta reproduciendo más de doce melodías diferentes.

Se trataba de un flautista de tamaño natural (178 cm) tallado íntegramente en madera a excepción de los brazos, realizados en cartón.

El flautista ubicado encima de un pedestal, en que se alojaba un cilindro de madera que giraba alrededor de su eje, cubierto con pequeñas protuberancias, que envían un impulso a quince palancas que controlaban, por medio de cadenas, la salida del suministro de aire, los movimientos de los labios, la lengua así como la articulación de los dedos. [Fig. 6]

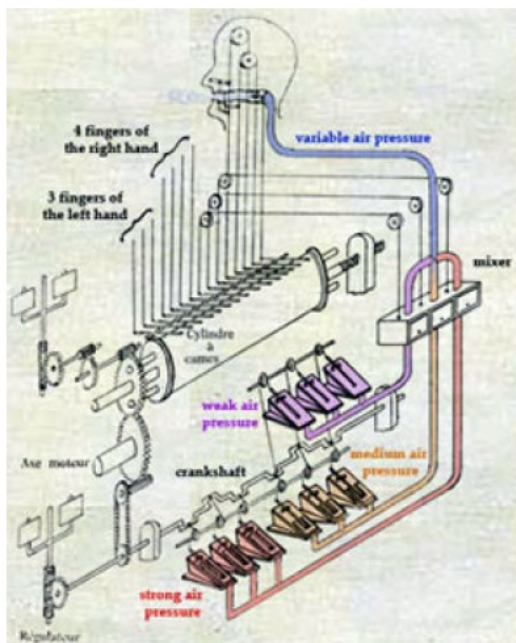


Fig.6. Esquema de funcionamiento del autómata del flautista. Publicación del *Musée National des Techniques_Jacques Vaucanson*.

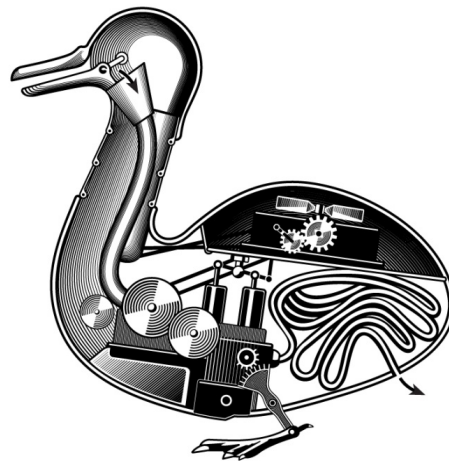


Fig.7. Mecanismo del “Pato” de Vaucanson. Publicación del *Musée National des Techniques_Jacques Vaucanson*.

En ese mismo año (1738) Vaucauson creó dos autómatas más; el Tamborilero y El Pato. El Tamborilero, al igual, que el flautista, era una estatua de un hombre a tamaño natural, situado sobre un pedestal. Equipado con una instrumentación más compleja este autómata, vestido como un pastor provenzal, era capaz de interpretar veinte canciones diferentes tocando la flauta en una mano y el tambor con la otra.

A pesar de la complejidad del mecanismo del tamborilero, Vaucanson considera que su obra más prestigiosa es “El Pato” [Fig.7]. Este autómata que representaba a un pato era capaz de mover las alas, comer y digerir granos. Contaba con alrededor de 400 piezas que imitaban fielmente los movimientos del animal. Gracias a la estructura abierta de su abdomen, el público podría incluso seguir el proceso digestivo desde la garganta hasta el esfínter que expulsa una especie de granos verdes [Fig.8]



Fig. 8. Imagen de los tres autómatas de Vaucanson. *Publicación del Musée National des Techniques_Jacques Vaucanson.*

La creación de estos autómatas proporcionó a Vaucanson la fama de creador revolucionario. Como consecuencia de ella, en 1741 fue nombrado inspector de la fabricación de la seda en Francia. Considerado el culpable de emprender reformas en el proceso de fabricación de la seda, que en ese momento había caído por debajo de Inglaterra, en 1745 creó el primer telar completamente automatizado del mundo [Fig. 9].



Fig. 9. Reconstrucción del telar de Vaucanson. Paris. *Publicación del Musée National des Techniques_Jacques Vaucanson.*

Sin embargo este hito de la industria textil, no tuvo éxito, aunque su funcionamiento era correcto y técnicamente sólido, sólo permitía la creación de imágenes que involucraban diseños repetidos con regularidad y únicamente unos pocos ejemplos salieron de esta producción antes de que fuese retirada con el apoyo de los tejedores.

3.3. JOHANN WOLFGANG RITTER: EL TURCO.

En 1769, el ingeniero húngaro Johan Wolfgang, construye uno de los autómatas más famosos de la historia: una máquina para jugar al ajedrez. Se trataba de un dispositivo puramente mecánico, consistente en una figura humana vestida con largos faldones, sentada a una mesa de 120 cm de largo por 80 cm de alto. Por su aspecto la maquina era conocida como “el turco”. Sobre la mesa había un tablero de ajedrez, y en el interior unos finos engranajes y resortes que imprimían movimientos en sus manos, que iban cambiando las fichas de posición a medida que transcurría la partida.

Para demostrar que no había trucaje el inventor abría las puertas de la caja y levantaba también las largas ropas del muñeco, evidenciando que se trataba de un ingenio mecánico sin intervención humana alguna. El maniquí ganaba las partidas más complicadas y se hizo famoso en toda Europa cuando derrotó por tres veces a Napoleón Bonaparte en 1809.

Nadie consiguió descubrir el secreto de esta máquina, y por supuesto, todos ignoraron que se habían enfrentado en realidad al campeón de ajedrez Johan Allgater, oculto dentro del cajón. Johan nunca fue descubierto y hoy en día siguen siendo un misterio algunos aspectos de invento. [Fig. 10]

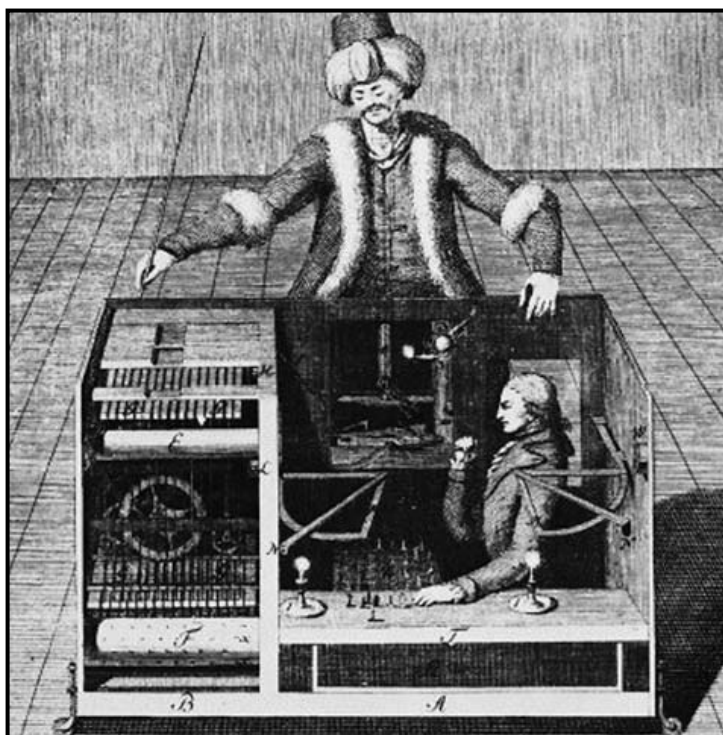


Fig. 10. Imagen del autómata ajedrecista de Johan Wolfgang. *Institut de Robótica Industrial (IRI)*. “Historia de la robótica”.

3.4. HENRI MAILLARD. LOS DIBUJOS DE UN MUÑECO.

Alrededor de 1800, el mecánico y relojero suizo creó “El dibujante”, que aún se conserva en el Instituto Franklin de Filadelfia, se trata de un autómata activado por resorte que dibuja y escribe versos en francés e inglés. Los movimientos de la mano son producidos por una serie de levas situadas en los ejes de la base del autómata, lo que producía el movimiento necesario para completar siete bocetos diferentes [Fig. 11- 12].

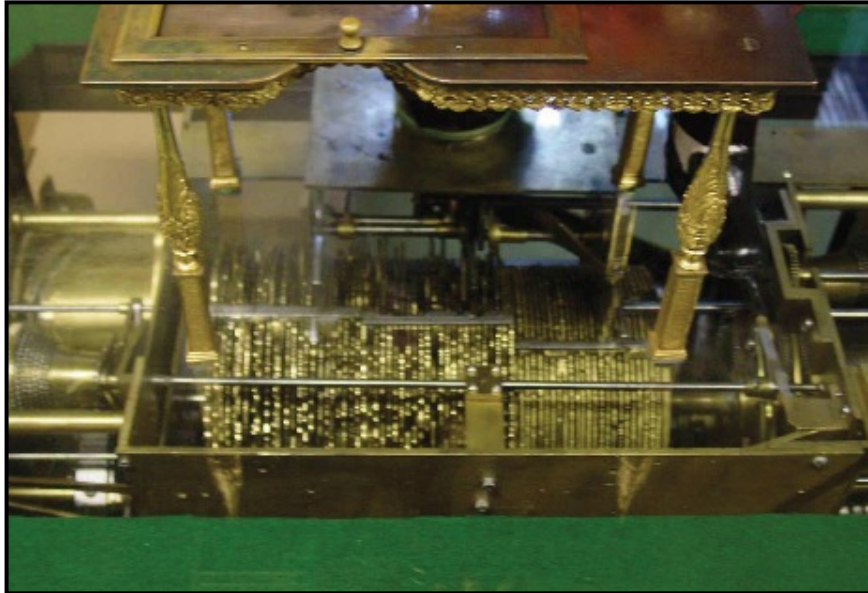


Fig. 11 Imagen del mecanismo de levas o discos del “Dibujante”. Instituto Frankling.



Fig. 12. “El Dibujante”. Instituto Frankling.

Los esfuerzos por imitar la vida fomentaron el desarrollo de principios mecánicos, lo que condujo a la producción de dispositivos más complejos. Del mismo modo que el Autómata de Maillardet fue construido y programado para deleitarnos con sus poemas e imágenes, hoy en día, ingenieros de grandes compañías y laboratorios, construyen y programan computadoras para realizar incluso las tareas más increíbles. El Autómata del Maillardet resultó ser un portento que ayudó a allanar el camino para los grandes prodigios tecnológicos que nos asombran actualmente.

3.5. EL INICIO DE LA ROBÓTICA ACTUAL.

La era de los autómatas destinados a entretener nobles acabó pronto y las ideas plasmadas por ellos fueron recogidas por los industriales del siglo XVIII que se dieron cuenta de la importancia de la automatización en la industria. De esta forma el inicio de la robótica actual puede fijarse en la revolución de la industria textil del siglo XVIII.

Fue entonces cuando Joseph Jacquard concibe en 1801 una máquina textil programable mediante tarjetas perforadas. La máquina permitía fabricar telas con hilos de distintos colores y complicados dibujos mediante el uso de tarjetas perforadas, manejada por un solo operario.

Gracias a las innovaciones de Jacquard, los hilos de urdimbre se movían de forma independiente para conseguir el dibujo deseado. Este dispositivo se gobernaba mediante un paquete de tarjetas de cartón perforadas que se cambiaban accionando un pedal, que a su vez activaban un complejo mecanismo de cuerdas y plantas que elevaban de forma alternativa un número diferente de hilos para la colocación en la trama.

La máquina, conocida como el telar de Jacquard, fue acogida con hostilidad por los tejedores pues temían el ahorro de la mano de obra que conllevaba despidos y bajos salarios. Manifestaban su oposición a la implantación de nuevas tecnologías con la destrucción de la maquinaria, movimiento obrero conocido como Ludismo⁷ que tuvo sus inicios en la Inglaterra de 1811 cuando la disolución violenta por parte del ejército de una manifestación de trabajadores que obtuvo como respuesta un incendio nocturno de una fábrica de hilados en Nottinghamshire. Las acciones destructivas se extendieron por zonas de intensa industrialización, epicentro de la Revolución Industrial⁸ en Gran Bretaña. El nombre de los luditas provenía de un artesano llamado Ned Luddlam, un aprendiz tejedor que rompió el telar de su maestro. Como forma de rendir honor a este gesto, los líderes, anónimos, adoptaron el nombre de Capitán Ludd y continuamente firmaban sus misivas amenazantes como Rey Ludd.

Aún con toda la oposición creada por las organizaciones ludistas, en 1812 más de 11.000 telares operaban a pleno rendimiento en Francia. [Fig. 13]

⁷ Renan Vega Cantor, Un Bicentenario Olvidado: La rebelión de los luditas (1812-2012).

⁸ A partir del siglo XVIII se inicia en Inglaterra un proceso de cambio económico llamado revolución industrial. Impulsada por la creación de la máquina de vapor de Watt, supone la desaparición de la sociedad tradicional basada en lo rural y la aparición de la sociedad moderna. Supuso el inicio de la industrialización.

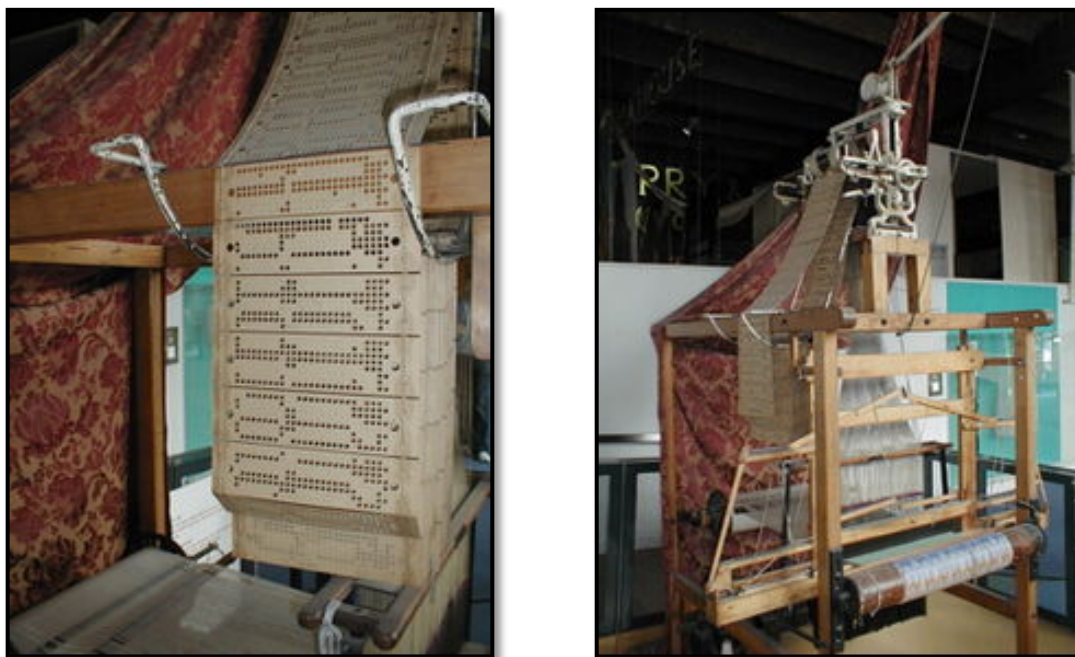


Fig. 13. Reproducción telar de Jacquard. Consulta web [http:// www.automata.cps](http://www.automata.cps)

La revolución industrial, impulsada por la aparición de la máquina de vapor de Watt, promovió el desarrollo de estos agentes mecánicos, entre los cuales destacaron la primera grúa motorizada para el traslado de materiales de Babbitt (1892) ⁹ y la ferviente enfatización de la necesidad de la creación de piezas intercambiables para la maquinaria existente, defendida por Sir. Joseph Whitworth¹⁰

Desde comienzos de siglo XIX hasta la Segunda Guerra Mundial la aparición de grandes sistemas de generación eléctrica, acrecentó la demanda de sistemas de regulación y control¹¹. Fue en 1946 cuando el inventor americano G. C. Devol desarrolla el primer dispositivo controlador que podía registrar señales eléctricas por medios magnéticos y reproducirlas para accionar una máquina mecánica.

A la par que el desarrollo del control numérico¹² nuevos sistemas de montaje eran implantados en las fábricas de la época. El conocido como “Caso Ford” es uno de los acontecimientos más importantes en cuanto al desarrollo técnico de la industria. El primer paso lo constituyó el cambio de una unidad estática de montaje a una unidad móvil con distintas piezas ordenadas en el suelo. El siguiente, consistía en efectuar una serie de cambios en la estructura de la cadena, y sobre todo, en la introducción del elemento que iba a convertirse en la clave de la revolución que se auguraba: la cinta transportadora.

⁹ Seward Babbitt ingeniero del Siglo XIX que diseñó la primera grúa motorizada para trasladar lingotes.

¹⁰ Joseph Whitworth (1803-1887) ingeniero británico creador de entre otros artilugios de un sistema de tornillos estandarizados, que se convirtió en el primer sistema nacional de estandarizado.

¹¹ Conjunto de componentes físicos relacionados entre sí, de tal forma que son capaces de gobernar su actuación por sí mismos, sin necesidad de la intervención de agentes externos, anulando posibles errores que puedan surgir. Sistemas Automáticos- ITESCAM. <http://www.itescam.edu>

¹² Control numérico (NC) sistema desarrollado a principios de los años 40, como su propio nombre indica implica el control de las acciones de una maquina por medio de números.

La producción en masa es uno de los componentes más importantes de lo que hoy en día se conoce como la Segunda Revolución Industrial¹³, la aparición de la cinta transportadora, la cadena de montaje y la consecuente división del trabajo son los principales elementos que conforman este fenómeno.

En el primer tercio del Siglo XX se inicia el desarrollo de la ingeniería en sus diferentes ramas, que van a permitir la construcción de lo que conocemos como robots¹⁴ modernos. La lista de acontecimientos científicos y técnicos que tienen que ver con la robótica no se limita a la ingeniería sino que involucra a las matemáticas y la física.

Asimov utilizó por primera vez el término “robótica” en los relatos cortos de su libro “*I Robot*” publicado en 1950. En ellos se postulan por primera vez las tres leyes de la robótica [Fig. 14]. Su ámbito novelístico no ha impedido que sigan vigentes en la actualidad, al menos como referente histórico.

Las tres leyes de la robótica según Asimov	
1	Un robot no debe dañar a un ser humano ni, por su pasividad, dejar que un ser humano sufra daño.
2	Un robot debe obedecer las órdenes que le son dadas por un ser humano, excepto cuando estas órdenes están en oposición con la primera Ley.
3	Un robot debe proteger su propia existencia, hasta donde esta protección no esté en conflicto con la primera o segunda ley.

Fig. 14. Las tres leyes de la robótica según Asimov. Fuente: Artículo Institut de robótica industrial (IRI). “Historia de la robótica”.

Durante la segunda guerra mundial se desarrolla un robot con dos brazos teleoperados para manipular explosivos, sin embargo este tipo de máquinas no se consideran robots en el sentido estricto pues responden a las órdenes de un teleoperador y, un robot, ejecuta sus acciones siguiendo las instrucciones de un programa.

Los avances continúan en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) donde se desarrolla en 1952, una línea de investigación sobre control numérico que culmina con la definición del lenguaje de programación de piezas tipo APT (*Automatically Programed Tooling*), publicado en 1961.

La primera patente de un dispositivo robótico fue solicitada en 1954 por el inventor británico C.W. Kenward, sin embargo fue de nuevo C. Devol, uno de los pioneros de la robótica, quien estableció las bases del robot industrial moderno, cuando en 1956 patenta un controlador que registraba señales eléctricas por medio de magnetos que accionan un dispositivo mecánico, logrando una máquina flexible, adaptable y fácil de manejar. A partir de Devol es cuando puede denominarse robot a una máquina, ya que el carácter de reprogramabilidad la distingue de los autómatas.

¹³ Segunda Revolución Industrial iniciada a mediados de S. XIX se considera una segunda fase de la Revolución Industrial desencadenada por el desarrollo de la industria eléctrica, del petróleo y del acero.

¹⁴ La palabra “robot” viene del vocablo checo robota, que significa “servidumbre” o “esclavitud”. El término fue utilizado por primera vez por Karel Capek en su obra teatral R.U.R. (1920),

Y, por fin, en 1960 se introduce el primer robot industrial¹⁵ “Unimate” basado en la transferencia de artículos programada de Devol.

Se instaló en una cadena de montaje de *General Motors* en Nueva Jersey. La máquina realizaba el trabajo de transportar las piezas fundidas en molde hasta la cadena de montaje, donde se soldaban sobre el chasis del vehículo, una peligrosa tarea para los trabajadores. El *Unimate* original constaba de una gran caja computarizada, unida a otra caja que se conectaba a un brazo articulado, con un programa de tareas almacenado en una memoria de tambor [Fig. 15]

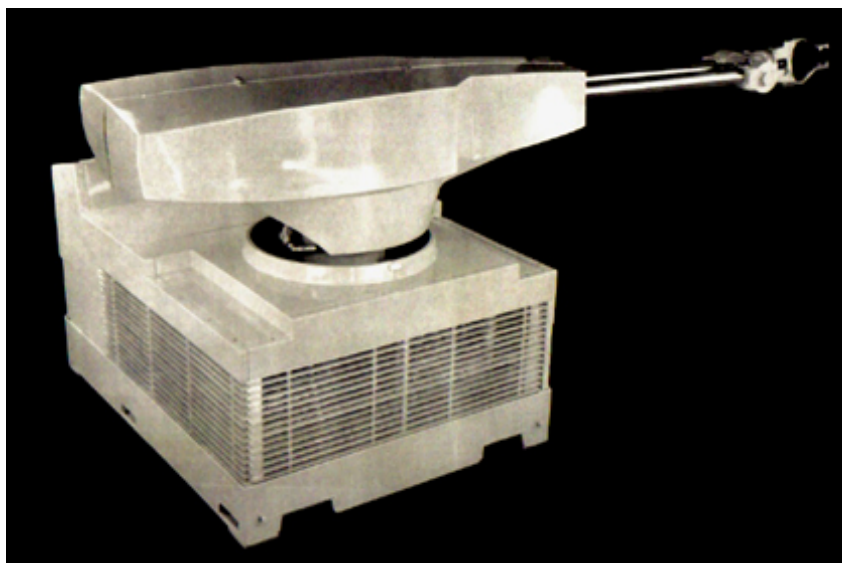


Fig. 15. Primer robot “Unimate” 1960. Consulta web [http:// www.monografias.com](http://www.monografias.com)

En 1968 aparece Shakey [Fig. 16] (“la primera persona electrónica”¹⁶, del *Stanfor Research Insitute* (en la actualidad Centro de Inteligencia Artificial). Shakey podía realizar tareas que requerían de planificación y reordenación de objetos, pues estaba provisto de múltiples sensores y medios para desplazarse por el suelo¹⁷. Este robot que influenció enormemente la robótica moderna y las técnicas de inteligencia artificial, se encuentra, a día de hoy, en el *Computer History Museum*, en Mountain View, California¹⁸.



Fig. 16. Robot Shakey. *Artificial Intelligence Center*.

¹⁵ Manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programas para realizar tareas diversas. Definición según la Robotics Industries Association (RIA).

¹⁶ Según el SRI International, la revista Life, se refirió a Shakey como la primera persona electrónica en 1970.

¹⁷ Artificial Intelligence Center. Shakey the robot. Tecnical Note. April 1984.

¹⁸ Las demostraciones de Shakey se recogieron en una película de 24 minutos “Shakey:Experimentation in Robot Learning and Planning”. Consulta web <http://www.ai.sri.com/shakey/> (Consulta Febrero 2014)

En 1970 todos los robots funcionaban con actuadores hidráulicos, integrando las funciones de comunicación en los autómatas a partir de 1973.

Cabe señalar 1975 como el año que supuso el cambio en el diseño de los robots al implantar el uso de microprocesadores, reduciendo de esta forma el tamaño y precio de los robots.



Fig. 17. Primer robot de construcción SSR-1. *Development of Spray Robot For Fireproof Cover Work.*

En 1983 aparece, de la mano de Shimizu Corporation, el primer robot de construcción diseñado para pulverizar material de protección contra el fuego sobre piezas de acero. [Fig. 17]

A partir de este momento los avances de esta tecnología son perceptibles día a día hasta llegar al punto en que nos encontramos con robots de tareas de limpieza doméstica, robots desactivadores de explosivos o androides dinámicos más modernos como ASIMO¹⁹ que es capaz de caminar, entablar conversación y realizar algunas tareas simples. La presencia de millones de robots en todo el mundo, en sectores muy diferentes, nada tiene que ver con las 3500 unidades que funcionaban en los comienzos en 1974²⁰

Al final del capítulo se incluye una tabla, a modo de resumen, donde se presentan los principales hitos en la historia del desarrollo de la robótica.

¹⁹ Asimo, robot humanoide presentado por la compañía japonesa Honda en el año 2000.

²⁰ Dato obtenido del artículo “Historia de robotización”. Institut de Robòtica Industrial (IRI).

Tabla 1. Principales hitos en la historia del desarrollo de la robótica. Elaboración propia.

Fecha	Desarrollo
1300 A.C.	Egipcios y griegos promueven la construcción de estatuas que imitan los movimientos y sonidos del cuerpo humano.
10-70 D.C	Primer mecanismo que se movían a través de dispositivos hidráulicos: sistema de apertura de las puertas del Templo de Herón.
1352	El Gallo de Estrasburgo, considerado como el robot más antiguo que se conserva en la actualidad, formaba parte de la catedral y al dar las horas, movía el pico y las alas.
1500	El Papamoscas, en España el reloj de la catedral de Burgos, consiste en un hombre mecánico que se mueve con los cambios horarios.
1515	Leonardo da Vinci esboza los primeros “autómatas”, replicas de un león y un caballero capaz de moverse por si solos.
1738	Jacques Vaucanson construye varios muñecos mecánicos de tamaño humano capaces de reproducir diferentes piezas de música.
1741	Jacques Vaucanson es nombrado inspector de la fabricación de la seda.
1745	J. Vaucanson crea el primer telar automatizado.
1769	Johann Wolfgang, ingeniero húngaro construye uno de los autómatas más famosos de la historia; “El turco”.
1800	Henri Maillardet el mecánico y relojero suizo crea “El dibujante”, un autómata activado por resorte que dibuja y escribe versos.
1801	Joseph Jacquard concibe la primera máquina textil programable mediante tarjetas perforadas.
1800	La aparición de la máquina de vapor de Watt, promueve la primera revolución industrial.
1892	La primera grúa motorizada es implantada en la industria de la mano de Babbitt.
1946	El inventor americano G.C. Devol desarrolla un dispositivo controlador que podía registrar señales eléctricas por medios magnéticos y reproducirlas para accionar una máquina mecánica.
1950	Isaac Asimov utiliza por primera vez la palabra robótica, en su libro I Robot.
1952	El MIT (Instituto Tecnológico de Massachussets) desarrolla una línea de investigación sobre el control numérico.
1960	Primer robot tipo “Unimate” basado en la transferencia de artículos programados de Devol.
1961	El lenguaje de programación APT (Automatically Programmed Tooling) implantado por el MIT se convierte en básico para la automatización programable.
1968	Shakey del Stanfor Research Institute, es el primer robot provisto de sensores que le confiere la capacidad de desplazarse.
1970	La totalidad de los robots existentes funcionan con actuadores hidráulicos.
1975	Aplicación de microprocesadores, supone una revolución en la industria.
1983	Primer robot de construcción: SSR-1

ROBÓTICA APLICADA A LA EDIFICACIÓN

4

ROBOTICA APLICADA A LA EDIFICACIÓN

Pese a que tecnológicamente se considera una industria conservadora, el sector de la construcción está desarrollando nuevos robots que buscan facilitar la ejecución de las tareas más complejas o peligrosas de los profesionales de la edificación. El desarrollo de la automatización y la robótica está motivada por los siguientes factores (Venables, 1994)²¹:

- Eliminación de los puestos de trabajo peligrosos
- Mejorar el acceso a áreas complicadas
- Aumento de la calidad en la construcción
- Aumento de la productividad
- Mejora de la planificación de obra
- Aumento de la precisión
- Aumento de la flexibilidad de los procesos de construcción.

En el centro del desarrollo de estos modelos se encuentra Japón, el único país productor de más de un centenar de robots que han ido más allá del laboratorio.

Mientras que en otros países, entre ellos Estados Unidos, el desarrollo de estas máquinas no avanza más allá del prototipo de laboratorio en Japón la aplicación en obra de estos robots de servicio es inmediata. Las razones de este retraso en la innovación se atribuyen únicamente a las diferencias culturales que presenta el país Nipón con el resto de países investigadores.

Un estudio realizado en 1994 por John G. Everett y Hiroshi Saito²², esclarece las diferencias importantes entre los objetivos de investigación de estadounidenses y japoneses, que se centran prácticamente en solucionar el desinterés emergente de las nuevas generaciones sobre los trabajos en la construcción, extendido por la definición de esta industria como la “3K” o “*kitsui*” (difícil), “*kitanai*” (sucio) y “*kiken*” (peligrosa), provocando una falta de mano de obra especializada.

²¹ Venables, R. *Construction Automation and Robotics*. Journal of the industrial robot. (1994)

²² John G. Everett and Hiroshi Saito. *Social and Cultural Differences Between Japan and the United States. Automation and Robotics in Construction*. 1994.

4.1. ¿QUÉ ES UN ROBOT DE CONSTRUCCIÓN?

La palabra “robot” viene del vocablo checo *robota*, que significa “servidumbre” o “esclavitud”. El término fue utilizado por primera vez por Karel Capek en su obra teatral *R.U.R.* (1920), donde el protagonista, crea una empresa en una isla perdida dedicada a la fabricación de criaturas mecánicas a imagen y semejanza de los seres humanos para ser utilizadas como mano de obra barata.

En 1979 la *Robotics Industries Association of America* (RIA)²³ definió un robot como “un manipulador multifuncional reprogramable, diseñado para trasladar materiales, piezas, herramientas; dispositivos especiales programados con diferentes movimientos para mejorar el rendimiento de determinadas tareas”. Esta definición sirve como estándar internacional para todas las industrias profesionales. Las tres palabras clave que incluye dejan más que claros los parámetros que se deben tener en cuenta a la hora de considerar un robot:

- Manipulador: mecanismo programado para el desempeño de las tareas asignadas.
- Multifuncional: un robot debe ser capaz de realizar más de una tarea, por lo que un robot es una herramienta versátil, logrado por la reprogramación.
- Reprogramable: un robot debe ser capaz de ser “alimentado” con instrucciones actualizadas. La reprogramación de la computadora permite un realizar un número ilimitado de tareas u operaciones dentro de las limitaciones de las capacidades físicas y mecánicas del propio robot.

La definición del JIRA²⁴ (*Japan Industrial Robot Association*) es más exhaustiva, e incluye seis tipologías de robots de acuerdo con la extensión de su autonomía:

1. Dispositivos de manipulación manual.
2. Robots de secuencia fija
3. Robots de secuencia variable
4. Robots de reproducción
5. Robots de control numérico, que pueden ser programados.
6. Robots inteligentes, los cuales pueden interactuar con el ambiente.

Los componentes básicos de un robot según el artículo *Robotics In The Construction Industry*²⁵, son cuatro: el manipulador o brazo, el controlador, la fuente de alimentación y *end-effector* o dispositivo extremo.

La descripción y el funcionamiento de los componentes básicos de un robot industrial son los siguientes (*Automated Building systems*, 1999)²⁶:

²³ RIA. Fundada en 1974 es el único grupo de América del Norte constituido únicamente para servir a la industria de la robótica. Entre sus miembros se incluyen fabricantes, usuarios, proveedores, grupos de investigación y empresas de consultoría.

²⁴ La Asociación del Robot en Japón se formó en 197. Actualmente se conoce con el nombre JARA, que adoptó en junio 1994 con el fin de dar cabida a los robots no industriales. www.jara.jp

²⁵ Jackson, James. *Robotics in the constuction indusrty*. University of Florida. 1990

²⁶ Abraham Warszawski. *Industrialized and Automated Building Systems*. 1999 USA and Canadá.

- El manipulador es la parte del robot que realiza el trabajo físico. En general, el brazo de un robot consta de varios enlaces articulados que disponen de una muñeca al final. Las articulaciones actúan como ejes para una rotación o traslación del eslabón adyacente cuyos movimientos son producidos por el motor. El número de articulaciones determina los grados de libertad con los que el brazo es capaz de moverse en el espacio. El número mínimo de grados de libertad para mover un objeto de un punto a otro son tres.
- Los movimientos del brazo son promovidos por el motor, que puede ser de tipo neumático, hidráulico o eléctrico. La gran mayoría de los robots que actualmente están en funcionamiento emplean motores eléctricos o hidráulicos.

Los grados de libertad del brazo del robot, también conocidos como DOF hacen referencia al número de movimientos independientes que se pueden realizar. El número mínimo de grados de libertad necesarios para mover un objeto de un punto en el espacio a otro son tres de un total de seis. No todos los robots empleados en la industria poseen seis grados de libertad, la mayoría únicamente poseen 3,4 ó 5.

En la actualidad contamos con robots cuyos brazos poseen cinco ejes de movimiento lo que le confiere gran flexibilidad para la realización de la tarea encomendada. [Fig. 18]

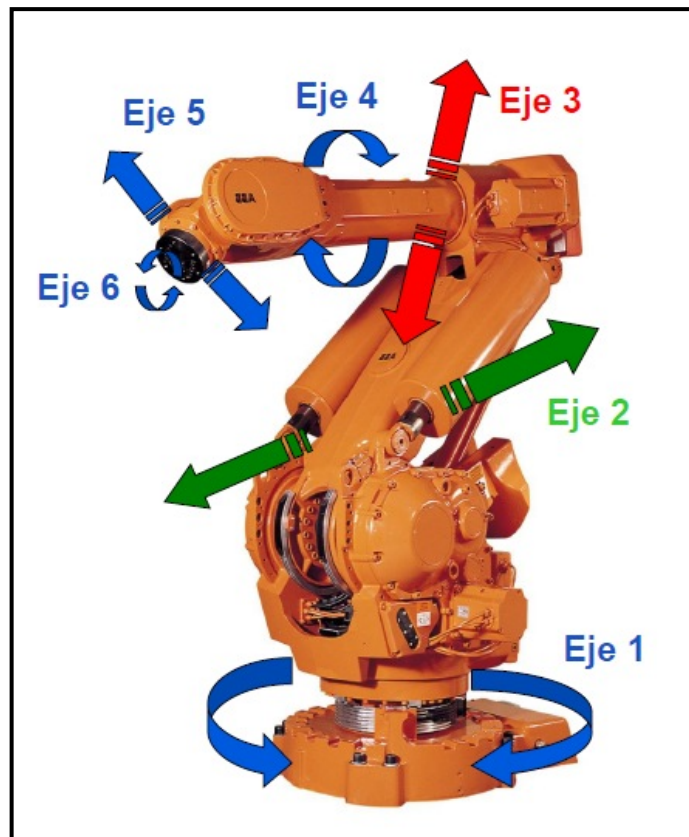


Fig. 18 . Esquema con el número máximo de grados de libertad de un robot.

- *“End-effector”* es el dispositivo con el que el robot realiza la tarea para la que fue diseñado. Las tareas en general, se basan en operaciones de recoger y colocar *“pick and place”* los objetos de un lugar a otro para poder ejecutar su unión, acabado, pintado.... Las pinzas deben adaptarse a la forma de los objetos a manipular, por lo que existen pinzas de dedos, de succión, de tubo e incluso magnéticas.

El propósito de la función de control en un sistema robótico es asegurar que el dispositivo extremo llega a su destino y realiza la tarea para la que fue requerido.

Sin embargo, a diferencia de los robots industrializados los robots de construcción no son estacionarios, sino que el producto, en este caso el edificio, es estacionario y son los robots los que deben cambiar de ubicación. Por otra parte, en la industria manufacturera, los productos son idénticos y los robots deben repetir continuamente la misma operación, al contrario de lo que suele ocurrir en la construcción en la que rara vez se repite la misma forma. Otro punto a considerar es que los materiales de construcción son de mayores dimensiones y más pesados que en el resto de las industrias y que además deben manejarse por un entorno de trabajo cambiante e inestable, todo lo contrario que en una fabricación en cadena. De esta forma el profesor Sakamoto identifica en su tesis *“Study of Mechanization of Building Construction”*²⁷ las condiciones que diferencian al robot industrial del robot de construcción: el producto estacionario, la variedad de materiales y la inestabilidad del entorno de trabajo.

Aun con todas estas diferencias no existe un consenso sobre la definición de robot de construcción, pero sí se diferencian dos tipos de tecnologías robóticas: por un lado se desarrollan robots diseñados para realizar una única tarea y por el otro sistemas de construcción automatizada. El desarrollo de estas dos tecnologías robóticas se exponen en los siguientes apartados de este trabajo.

²⁷ Sakamoto, S. *Study of Mechanization of Building Construction*. Ph D. Thesis. Utsunomiya University, Japan, 1995.

4.2. ROBOTS DE SERVICIO. HISTORIA DEL DESARROLLO.

El uso de los robots industriales experimentó en los años 60 y 70 un vertiginoso crecimiento, instalándose con autoridad en muchas de las industrias manufactureras, especialmente en la del automóvil. En la década de 1980 los contratistas japoneses comenzaron el desarrollo de robots de construcción y sistemas de automatización motivados por la necesidad de afrontar el futuro de la industria japonesa, además de mejorar la seguridad y reducir la mano de obra, era necesario que fuesen una llamada de atención para atraer a los jóvenes hacia el sector²⁸.

La tecnología robótica fue introducida en Japón por los Estados Unidos en 1968²⁹. Originalmente utilizados en la industria de la electrónica y el automóvil, el éxito de las grandes compañías (como Sony Corporation, Toyota y Nissan) motivo que en 1978 el JIRA (*Japan Industrial Robot Association*), actualmente conocido como JARA, con la dirección del MITI (Ministerio de Comercio e Industria) formase un comité para investigar la posibilidad de utilizar robots en la industria de la construcción. Uno de los primeros proyectos fue la creación en 1982 del grupo WASCOR (*Waseda Construcción Robot*) encabezado por el profesor Hasegawa. WASCOR constituyó una colaboración sin precedentes que hoy en día sigue siendo una fuerza impulsora.

A nivel internacional el AIJ (Instituto de Arquitectura de Japón) constituyó las bases en el inicio de lo que hoy en día se conoce como el Simposio Internacional de Automatización y Robótica en la Construcción (ISARC), ya que debido al interés manifestado en 1983 por parte de los estadounidenses en conocer el estado de la robotización en Japón, se organizó la primera ISARC en Pensilvania donde solo había oradores de tres naciones, Estados Unidos, Finlandia y Japón. Desde entonces las reuniones del ISARC se han celebrado anualmente por la IAARC (Asociación Internacional de Automatización y Robótica en la Construcción) en países de acogida de todo el mundo³⁰.

Las grandes empresas del sector de la construcción continuaron con sus investigaciones, lo que provoca que en 1983, Shimizu desarrollara el primer robot de construcción del mundo, el SSR-1 [Fig. 19], un robot para pulverizar material de protección contra el fuego sobre el acero. Un hito que será la base del desarrollo e investigación de los futuros robots introducidos por los gigantes de la construcción.

²⁸ Everett, J and Saito, H. *Automation and Robotics in Construction: social and cultural differences between Japan and United States*. Automation and Robotics in Construction XI.

²⁹ Cousineau, L. *Construction Robots: the search for new building technology in Japan*. Asce Press. 1998.

³⁰ Valence, G. *Design and Construction Buildings in value*. Editado por Rick Best. University of Technology Sydney.

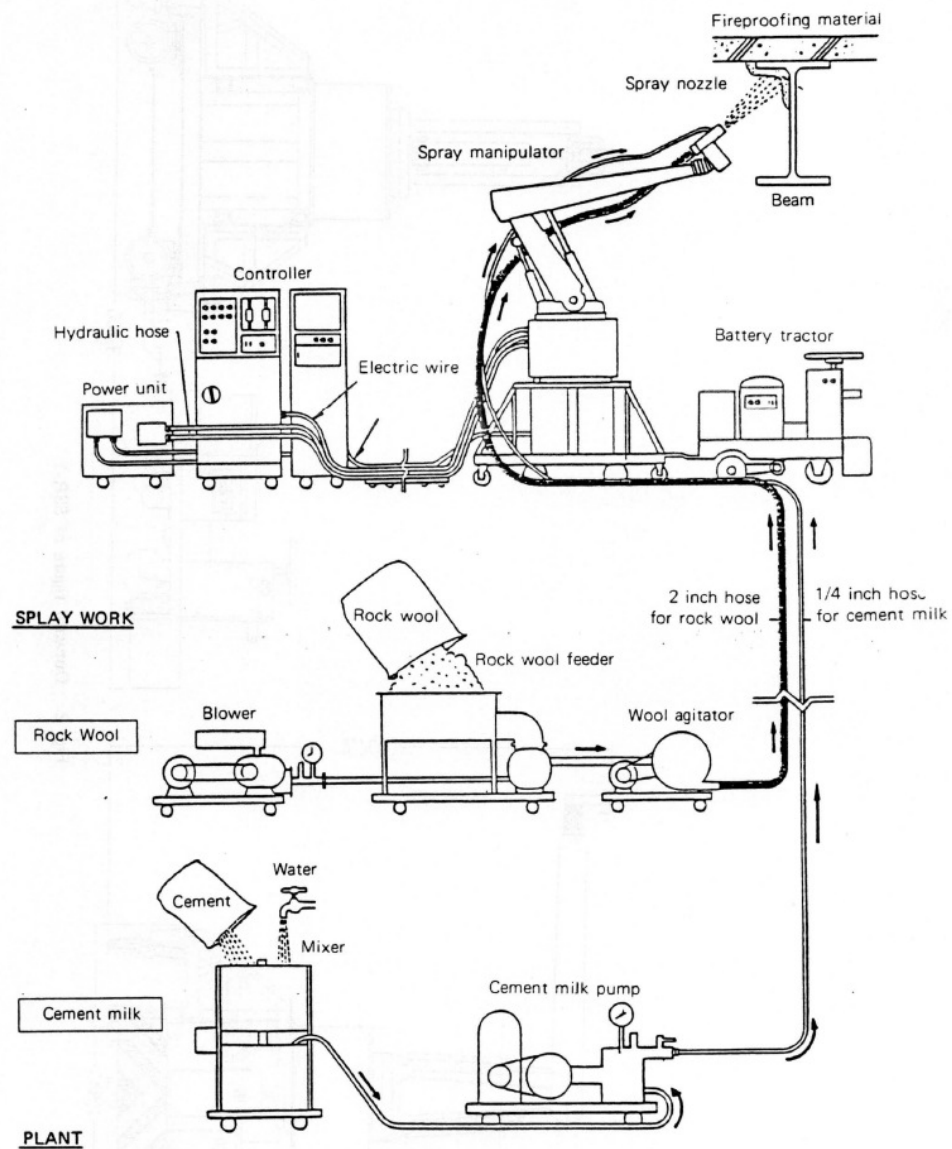


Fig. 1 Rock wool spray system with SSR-1

Fig. 19. Esquema robot SSR-1. *Development os Spray Robot for Fireproof Cover Work.*

La estructura del sistema cuenta con los siguientes componentes: suministro de material, manipulador, equipo de control y el motor.

Después de SSR-1 el SSR-2 fue desarrollado para mejorar alguna de las funciones del SSR-1 centrados principalmente en ampliar la movilidad del robot en el espacio de trabajo. Una vez aplicadas las modificaciones las dimensiones del robot pulverizador son las que se aprecia en el figura 2. [Fig.20-21]. El diseño del robot fue cambiando y el SSR-3 mostró un mejor desempeño, tamaño y peso reducidos. Este es un buen ejemplo del desarrollo incremental utilizando la investigación robótica.

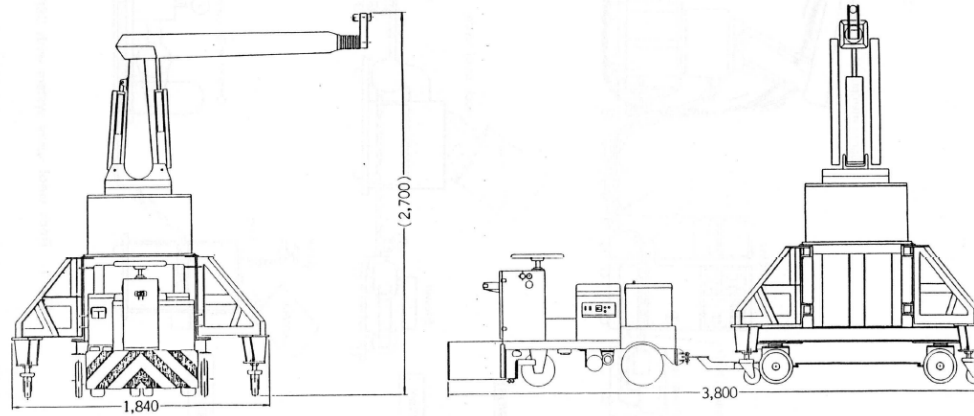


Fig. 2 Outward figure of SSR-1

Fig.20. Modificaciones del robot pulverizador. *Development os Spray Robot for Fireproof Cover Work.*

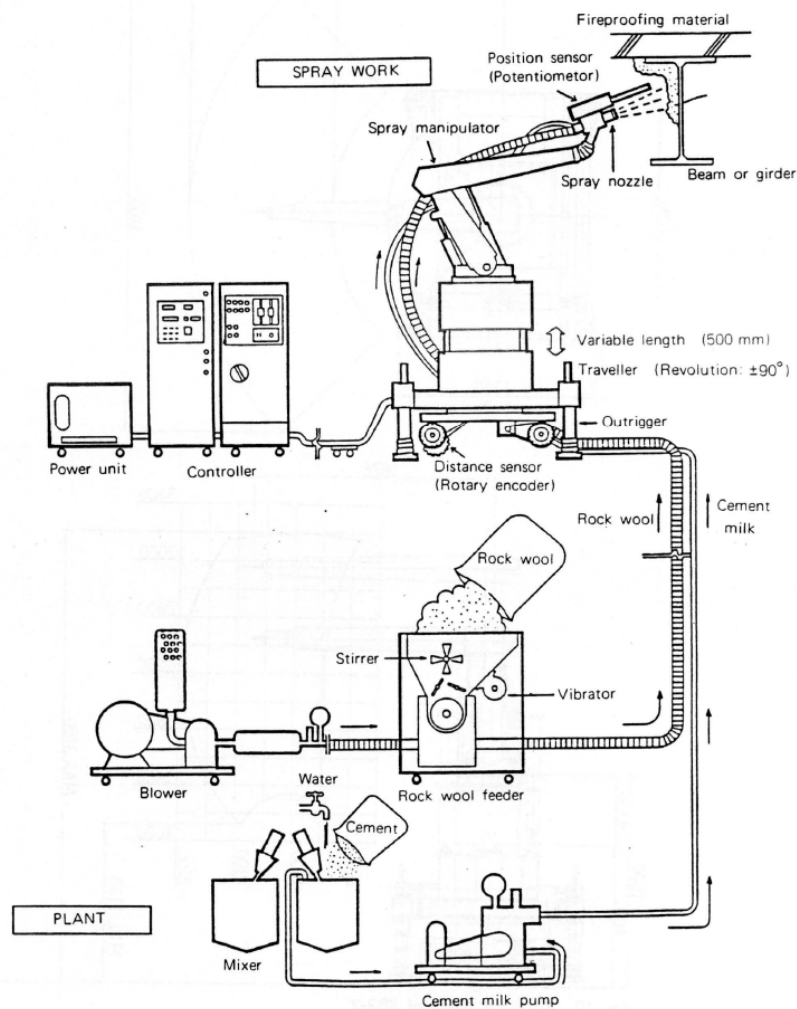


Fig. 9 Rock wool spray system with SSR-2

Fig. 21. Esquema funcionamiento SSR-2. *Development os Spray Robot for Fireproof Cover Work.*

4.3. ROBOTS EN LA INDUSTRIA Y EN LA EDIFICACIÓN: FACTORES QUE LOS DIFERENCIAN

La transición de los procesos totalmente manuales a los sistemas semiautomáticos de nuestros días permite incrementar la productividad, sin embargo el avance en la industria de la construcción no es comparable a los avances que sufrieron otras industrias como la manufacturera y en especial, la industria automovilística.

Uno de los factores clave de la evaluación de cualquier industria es su productividad. En el gráfico que se adjunta a continuación (Balaguer, 2008)³¹, se puede observar que la productividad en la industria del automóvil ha sufrido un aumento claramente superior al de la industria de construcción en la Unión Europea. Según Balaguer, la principal razón de esta elevada productividad es el concepto de fabricación moderna: *Computer Integrated Manufacturing* (CIM), concepto que fue desarrollado en las últimas décadas y ha cambiado no solo la industria manufacturera sino que también el concepto de producto. Los sistemas CIM, permiten equilibrar la flexibilidad en el producto con la productividad en la fabricación [Fig.22].

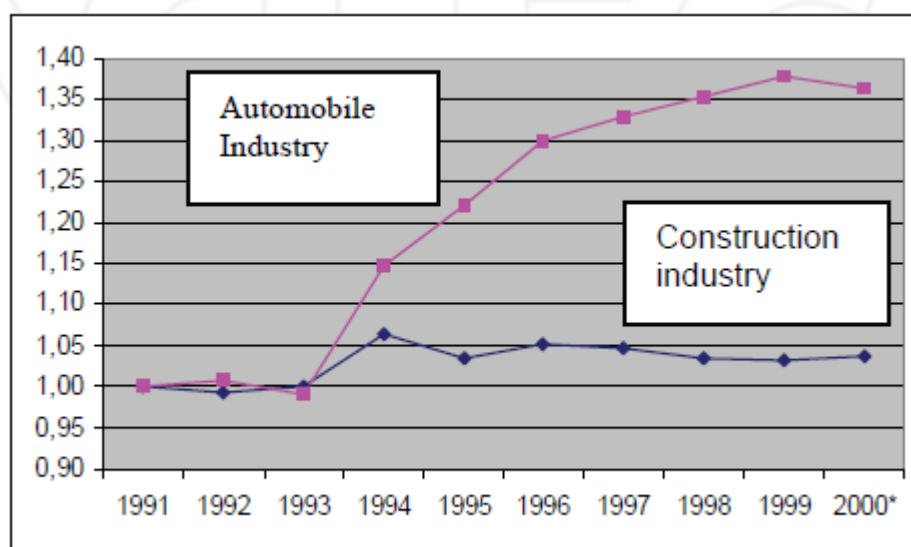


Fig.22. Productividad industria del automóvil y la construcción. Fuente: *Trends in robotic and automation in construction*.

Mientras que en la industria de la construcción, la ejecución de viviendas continúa siendo un proceso muy cercano a la artesanía, la industria automotriz busca continuamente reducir costos en el desarrollo de sus productos y la fabricación en serie reduce el coste no sólo del producto final, sino también el coste de los equipos de fabricación.

Sin embargo la introducción de la tecnología robótica en la construcción ha sido más complicada que en otras industrias. Según un estudio de la Universidad de Florida³² los factores que limitan la implementación de los robots en la construcción son siete:

³¹ Balaguer, Carlos. *Trends in Robotics and Automation in Construction*. Universidad Carlos III. España 2008.

³² Jackson, J. *Robotics in the construction industry*. University of Florida. Summer 1990.

- La dispersión del trabajo:

En la industria manufacturera el trabajo se encuentra centralizado en un único lugar, en esta estación de trabajo, el robot realizará la misma tarea o función repetidamente, durante un periodo de tiempo indefinido. En la industria de la construcción, la obra está dispersa en varios proyectos o sitios de trabajo. Como tal un robot de construcción debe ser móvil y transportable lo que aumenta significativamente el costo del robot.

- Repetitividad:

La clave para el éxito de los robots en la industria manufacturera ha sido la repetitividad: la capacidad del robot para llevar a cabo la misma tarea tiempo y otra vez sin intervención o ajuste del operador. En la industria de la construcción el robot debe ser movido, alineado y posiblemente reprogramado entre las áreas de trabajo, debemos sumar también la falta de estandarización en los materiales, acabados y calidad (debido a deseos de los propietarios o de los factores ambientales) lo que dificulta la repetitividad.

- Variedad de oficios:

En la industria manufacturera, un robot realizará su tarea independientemente de la productividad de los otros. En la industria de la construcción, cualquier proyecto puede constar de numerosas tareas pertenecientes a diferentes oficios. Por lo tanto un oficio debe esperar a otro para completar su trabajo, se requerirá una estrecha coordinación y programación para completar el proyecto.

- Actitud conservadora:

A través de la historia, la industria de la construcción ha sido lenta en adoptar nuevas ideas, tecnologías y técnicas. Los contratistas y encargados de la construcción dependen de la experiencia de los métodos y materiales, ya que la capacidad del contratista para cumplir con los plazos está ligada al conocimiento y rapidez de las técnicas utilizadas. La introducción de cambios en los productos y la tecnología puede requerir cambios en la organización de los procesos existentes por lo que la resistencia por parte de los contratistas y encargados a la implementación de nuevas técnicas siempre ha sido elevada manteniendo una actitud conservadora.

- Flexibilidad y adaptabilidad:

La adaptabilidad, creatividad y flexibilidad del obrero en el ambiente de trabajo es muy elevada, la destreza física del trabajador no puede ser duplicada por un robot, como un dispositivo mecánico, un robot, tiene limitado el rango de las capacidades de movimiento y de trabajo.

- “Boom or Bust”:

A través de la historia, la industria de la construcción refleja la situación económica del país. Cuando las condiciones económicas son buenas, la construcción está en auge y se llevan a cabo numerosos proyectos de construcción, cuando la situación económica es deficiente, la

construcción desacelera, situación que refleja esta expresión que viene a traducirse como “auge o caída”.

Esta condición de “boom or bust”³³, impide una constante fuente de ingresos, lo que retrasa la investigación, ya que mientras que los robots requieren de una significativa inversión de capital, los trabajadores son económicos. Sin una fuente estable de ingresos, la inversión en robots es arriesgada e injustificable.

- Condiciones de trabajo:

En la industria manufacturera el trabajo del robot está controlado. Por ejemplo, para la mayoría (si no todos) el trabajo se realiza en el interior, en la construcción, la mayor parte del trabajo se realiza en el exterior, donde los robots suelen estar expuestos a los elementos.

En la industria manufacturera la estación de trabajo está limpia y libre de elementos que obstaculicen el trabajo, en la construcción, los lugares de trabajo son, cuando menos, polvorientos y sucios, factores que inhiben la movilidad del robot incrementando el tiempo de ejecución de los trabajos.

Para evitar el deterioro y reducir al mínimo los efectos sobre el robot, deben ser construidos tan herméticamente como sea posible. La construcción hermética se traducirá en un incremento de costos.

- Aumento de la productividad:

La industria manufacturera ha demostrado que la aplicación planificada y eficiente de los robots aumenta la productividad. Cada uno de los siguientes factores, indica maneras que los robots podría aumentar la productividad en la construcción.

- Actividad continua: los robots son capaces de mantenimiento de la actividad continua y productiva durante largos periodos de tiempo; no necesitan descansos o vacaciones.
- Trabajo bajo duras condiciones: como objetos inanimados, a los robots no le afectan las condiciones climáticas adversas, los trabajos monótonos o trabajos peligrosos.

- Aumento de la calidad:

Un problema que se ha observado en la construcción es la variación de calidad que puede existir en la ejecución de diferentes proyectos, que depende de la especialización de mano obra empleada. Una de las ventajas de los robots es la repetitividad, que garantiza altos estándares de calidad de forma uniforme.

³³ Expresión que se usa en economía para definir un periodo de prosperidad económica seguido por una depresión. Origen 1940 – 1945.

- Reducción de material de desecho:

Una vez más, a través de la repetitividad, los robots podrán utilizar métodos eficientes para llevar a cabo las tareas asignadas, minimizando el desperdicio de material, que a su vez reducirá costos.

- Consideraciones de seguridad:

Tal vez el factor más importante para considerar el uso de robots en la construcción es la seguridad. En una comparación con la industria de la fabricación, la construcción presenta siete veces más muertes por cada trabajador y el doble de lesiones incapacitantes. A causa de estos accidentes y la seguridad en general, el seguro de compensación al trabajador es extremadamente alto. A largo plazo, desde el punto de vista económico, puede resultar más rentable la reparación de un robot que proporcionar atención médica, salarios perdidos y rehabilitación a un trabajador lesionado.

A pesar de las limitaciones señaladas anteriormente, los robots poseen ciertas ventajas y potencial para su aplicación en construcción:

- Mejora de la calidad del producto: una característica común de todos los robots es la repetitividad, mostrando movimientos muy precisos que equivale a una mayor calidad del producto final. Que conlleva a clientes satisfechos, aumento proporcional de ventas y ganancias.
- Mejora de la calidad de vida de los trabajadores: el empleo de robots alivia a los trabajadores de puestos de trabajo tediosos, en los que los humanos tienden a reducir la atención cuando las tareas se convierten en repetitivas haciéndoles más propensos a los accidentes laborales.
- Reducción costes: al maximizar la eficiencia de sus movimientos, no precisar de descansos o vacaciones, el empleo de robots puede proporcionar un aumento de la productividad de un 20 a un 300 por ciento con respecto a los trabajadores, lo que conlleva reducción de mano, aumento de la productividad y la calidad y por consiguiente aumento de los beneficios.

No obstante, existe una gran especialización de los brazos robóticos industrializados, de cara a la construcción. Un ejemplo de ello son los brazos robóticos de la empresa KUKA Roboter, uno de los más importantes fabricantes de robots industriales en todo el mundo. Entre su gama de automatización aplicada a la industria de la construcción se puede encontrar desde brazos robóticos de manipulación hasta la producción de elementos de encofrado.

Por mencionar una de sus aplicaciones, que actualmente se encuentra en funcionamiento, la empresa CREATON, produce hasta 60 tejas de barro por minuto, una tarea que realizaba de forma manual. Cinco robots KUKA de seis ejes, se encargan de la manipulación de las tejas, el primer robot coloca las tejas que se conducen al horno, un segundo robot recoge las tejas de barro ya cocidas y las deposita sobre una cinta transportadora que las dirige hacia dos brazos más que, trabajando a dúo, apilan cuatro tejas formando minipaquetes, que son recogidos por el últimos de los robots del sistema. [Fig. 23]

De esta forma la empresa pudo aumentar más del doble su producción.



Fig. 23. Brazo robótico KUKA. Consulta web: <http://www.kuka-robotics.com>

También existen otros robots industriales con aplicaciones en construcción, como puede apreciarse el ARC Mate 120, un robot de seis ejes, controlado eléctricamente, diseñado para obtener una gran precisión y alta velocidad en procesos de soldadura y corte [Fig.24]. Otro ejemplo, lo constituyen los robots empleados en fábricas de materiales de construcción, como pueden ser: robots de manejo de palets, transporte de materiales, aplicación de resinas, etc.



Fig. 24. Robot ARC Mate 120. Consulta web empresa FANUC

4.4. PROTOTIPOS DESARROLLADOS.

Desde que en 1983 Shimizu sacase al mercado el primer robot de construcción fueron varios los robots de servicio que se llevaron a cabo para paliar la escasez de mano de obra calificada.

Tanto en Japón, como Estados Unidos o Europa existe un esfuerzo de investigación diversa y ampliamente difundida, con una gran participación tanto del sector público como privado.

La gama de proyectos desarrollados en Europa puede observarse en la tabla 2, algunos de ellos como el proyecto ROCCO, un sistema robotizado para la construcción de edificios, cuyas principales aplicaciones son el montaje de ladrillos, columnas u otros elementos, o el ROMA, un robot móvil multifuncional; fueron desarrollados por el instituto español de la Universidad Carlos III de Madrid. Un ejemplo más, es el sistema BIBER, un prototipo de un robot de albañilería que se está desarrollando en Alemania.

En Estados Unidos el desarrollo desde la década de los 80 ha sido rápido. La investigación de robots incluyó la excavación, nivelación, encofrado e incluso la partición interior, tal y como se muestra en tabla 3.

Tabla 2. Investigación en Europa Fuente: *Design and Construction building in value*.

Investigación en Europa	
Proyecto	Institución
High tractive power wall- climbing robot	Universidad de Hannover, Alemania
EMIR	Franhofer IFF, Alemania
Mobile bricklaying robot	Universidad de Stuttgart, Alemania
TAMIR Interior- finishing works building robot	Instituto Tecnológico de Israel
Construction robot for autonomous plastering of walls and ceilings	Universidad Tecnológica de Lulea, Suecia
ROMA Autonomous climbing robot for inspection applications in construction	Universidad Carlos III, España
SURFLY Low weight surface climbing robot	Universidad de Catania, Italia
Automated shotcrete robot	Suiza
Fully automated cleaning systems for valued glass structures	Franhofer IFF, Alemania
CIRC Computer integrated road construction	Universidad de Munchen, Alemania
FUTURHOME	Universidades: UK, Alemania, España y Suecia
ROCCO Robot assembly system for computer integrated construction	Alemania
SAFEMAID Semiautonomous facade maintenance device	Universidad de Munchen, Alemania
SAPPAR Stend automatic pile positioning and recording system	Universidad de Lancaster, UK
LUCIE Lancaster University computerized intelligent excavator	Universidad de Lancaster, UK
STARLIFTER	Universidad de Lancaster, UK

Tabla 3. Investigación en Estados Unidos. Fuente: *Design and Construction building in value*.

Investigación en Estados Unidos	
Proyecto	Institución
ERMaS Experimental robotic masonry systems	Universidad de Carolina del Norte, USA
Robotic bridge painting system	Universidad de Carolina del Norte, USA
Robotic bridge maintenance system	Universidad de Carolina del Norte, USA
IMS Intelligent manufacturing system project	Universidades de: USA, Germany, Japan and Finland
NGMS Next generation manufacturing systems	Universidades de: USA, Germany, Japan and Australia
HIPARMS Highl productive and reconfigurable manufacturing system	Universidades de: USA, Germany, Japan, Australia and Finland
Robocrane project advanced welding system	Insituto Nacional de Ciencia y Tecnología
Automated construction	Universidad de Michigan, USA

En definitiva, se han desarrollado robots para el montaje de estructuras de hormigón, trabajos de acabado exterior, trabajos de mantenimiento, montaje de estructuras de acero, demoliciones y trabajos de acabado interior.

Sin embargo en los primeros años su desarrollo se centraba principalmente en diseñar robots que abarcasen las tareas más peligrosas y repetitivas de la edificación. Así aparecen los primeros robots para acabado de hormigón, robots para pintado de fachadas o robots que facilitan los pesados trabajos de acabado interior.

Estos primeros ayudantes han ido sufriendo variaciones en su diseño a lo largo de los años y así nuevos prototipos mejorados son los que actualmente se emplean.

4.4.1 LA PRIMERA GENERACION:

La escasez de mano obra calificada provocada por la falta de motivación de las nuevas generaciones, provocó que la primera línea de robots desarrollados por los principales gigantes de la construcción se centrara en reducir los trabajos más tediosos, para conseguir de esta forma aumentar el interés de los nuevos operarios. Estos primeros “ayudantes” se especializaron en la ejecución de tres tareas: acabado de hormigón, pintado de fachadas y trabajos interiores.

Robots de acabado de hormigón: el acabado del hormigón es uno de los trabajos más exigentes, quizás por esta razón se han diseñado varios robots para reducir la mano de obra y aliviar a los trabajadores.

Los prototipos desarrollados presentan características comunes: todos operan con mortero y todos funcionan de forma automática. Sin embargo el sistema de transporte es diferente, al igual que la fuente de alimentación que varía entre motor eléctrico y de gasolina.

El primer robot de este tipo aparece en diciembre de 1986, de la mano de la corporación Takenaka y se conoce con el nombre de SURF ROBO³⁴ [Fig.25]. El Surf Robo funciona normalmente de forma automática aunque permite el uso de forma manual, se introducen las dimensiones de la zona en el tablero de control, y se elige la dirección de partida. Durante la operación, prácticamente no hay necesidad de que el operador intervenga. A lo largo del tiempo se han introducido mejoras y versiones actualizadas del surf robot se emplean actualmente en obra.

Conjuntamente con el desarrollo de este robot aparecen otros de diferentes corporaciones pero con las mismas funciones, tales como el *Kote King de Kajima Corporation* [Fig.26], *Floor work robot* de Obayashi [Fig.27] o el *Robocon* de Tokimec Construcción [Fig.28].



³⁴ Takenaka Corporation. *Development and the Result of Practical Works of Concrete Floor Finishing Robot*. Japan. 1990.

Surf Robo	
Modelo	TSCP-2000
Medidas	2230 x 1260 x 1350 mm
Peso	185 kg
Presión de contacto	0,12 kg /cm ³
Capacidad de trabajo	200 m ² / h
Velocidad de rotación de las cuchillas	0 – 35 r.p.m
Velocidad de desplazamiento	0 – 12 m/min
Operador	Control de radio y microprocesador

Fig.25. Robot Surf Robo. *The 5th International Simposio on Robotics in Construction.*



Fig.26. Robot Kote King. *Construction Robots. The search for new building technology in Japan.*



Fig. 27. Robocon. Revista ICE “Automatión construction in Japan”.

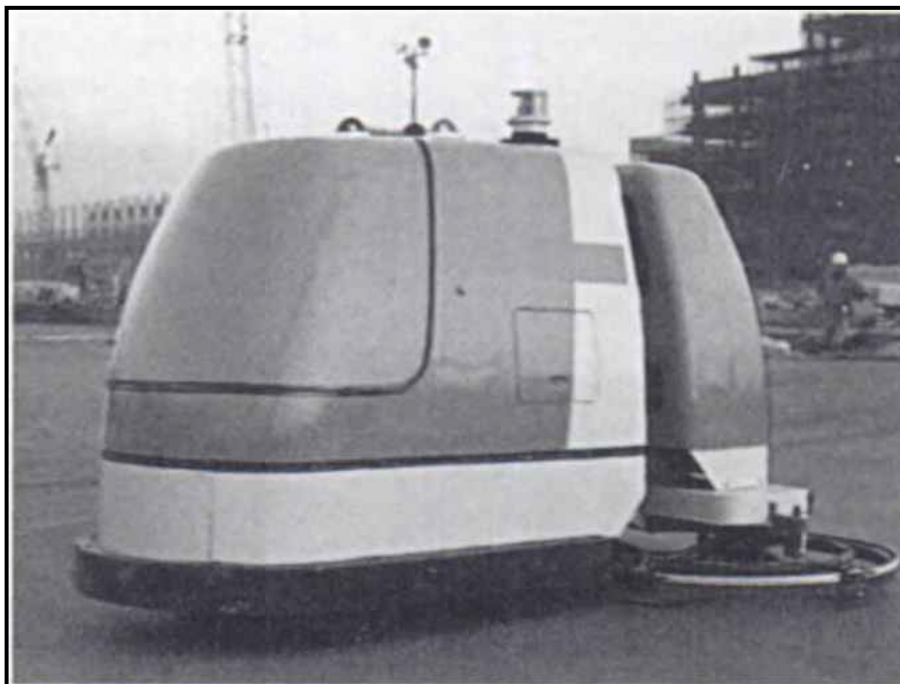


Fig.28. Obayashi's robot. *Construction Robots. The search for new building technology in Japan.*

Todos los robots eliminaron la parte más extenuante del trabajo de acabado y reducen las horas necesarias de mano obra aunque sigue siendo necesaria.

Robots de pintado de fachadas: tradicionalmente los pintores trabajan desde cualquier andamio o góndola, a menudo a grandes alturas y están expuestos a gases nocivos.

Por esto los objetivos que se perseguían al diseñar este tipo de robots era aliviar a los trabajadores, mejorar el ambiente de trabajo, mejorar la productividad y la calidad a la vez que se reduce la mano de obra.

Todos los robots sacados al mercado son operados remotamente tanto por control automático como manual y se desplazan de forma automática a lo largo de la pared ya sea por góndola o por sistema de vacío. La uniformidad del acabado se consigue mediante el ajuste de la velocidad y la anchura de pulverización de la pintura.

Se requiere de una supervisión continua para comprobar cables, mangueras y suministro de pintura, por otra parte la mano de obra calificada siendo necesaria para las zonas de difícil acceso como marcos de ventanas.

Dos ejemplos de robots diseñados para el pintado de fachas son el Tasei – TPR-02 [Fig. 29]. y el Kajima, a continuación se incluyen las fichas técnicas obtenidas de la base de robots de construcción del I.A.A.R.C.³⁵

³⁵ *International Association of Automation and Robotics in Construction.* Fundada en 1991, se trata de una comunidad global con preocupación específica en todos los campos de la construcción, automatización, aplicaciones de la robótica y tecnologías TI. www.iaarc.org

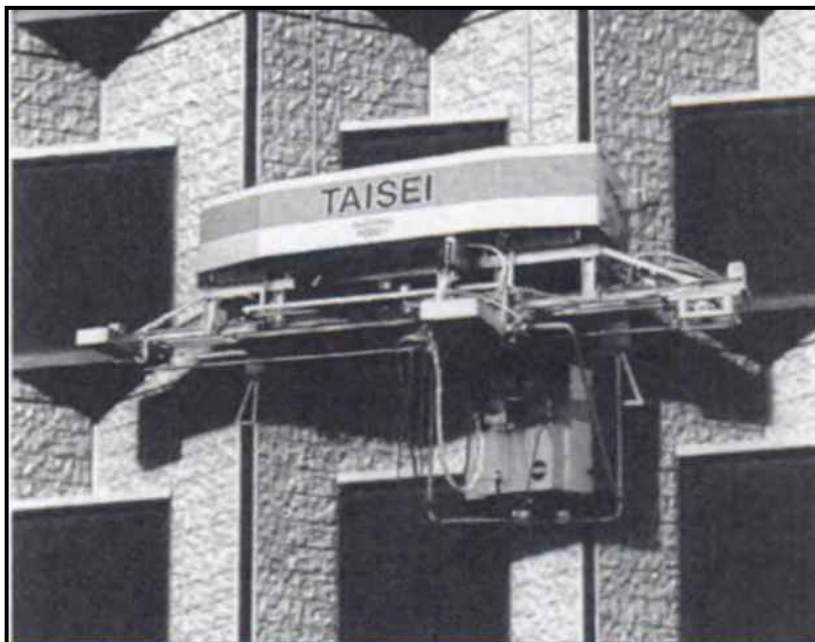


Fig.29. Robot de pintado fachadas Taisei. *Construction Robots. The search for new building technology in Japan.*

Robots de trabajo interior: la manipulación de materiales es exigente físicamente debido a que el uso de grúas y otros equipos de trabajo pesado, no es práctico.

Algunos de robots desarrollados como el CFR1 de Shimizu's [Fig.30], se emplean para la instalación de placas de yeso en techos, o el Taisei Boardman – 100 [Fig.31] que se emplea para la instalación de placas de forma vertical, pero si lo que buscamos es un robot multifuncional debemos referirnos al Mighty Hand de Komatsu [Fig.32]. Todos ellos requieren de mano de obra pero alivian la manipulación de materiales pesados.

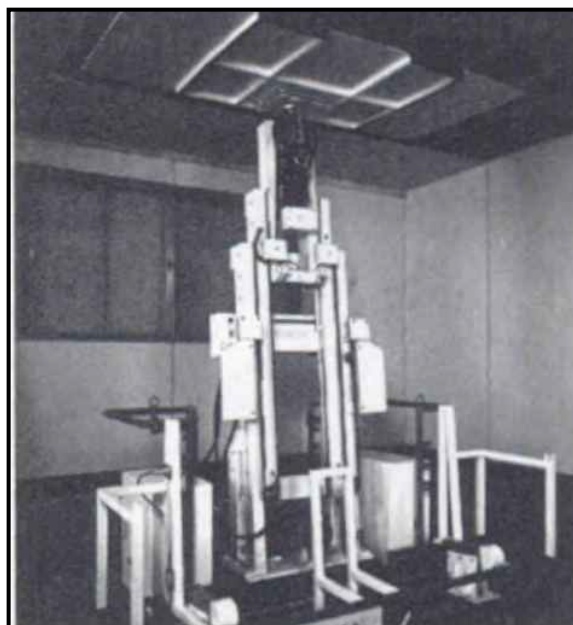


Fig.30. Robot para colocación de planchas CFR-1. *Construction Robots. The search for new building technology in Japan.*

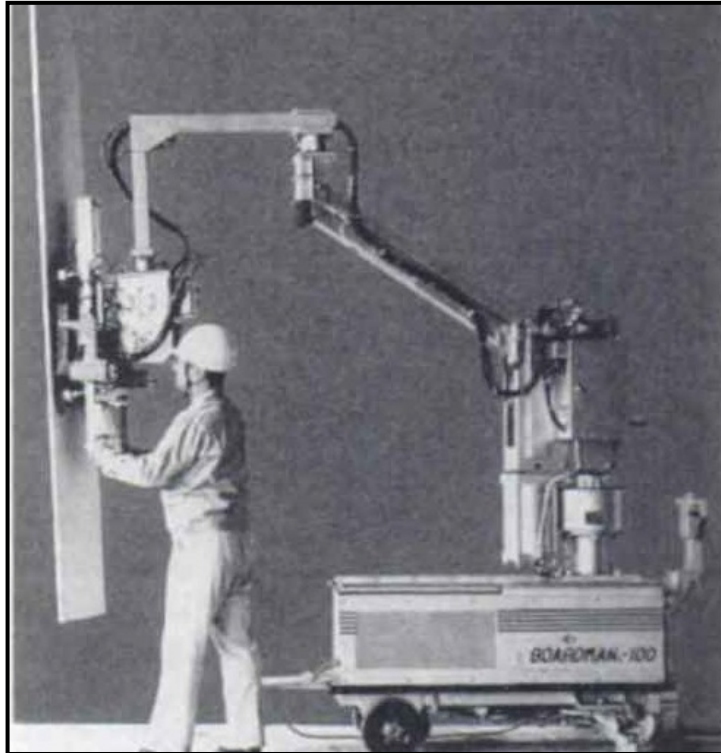


Fig.31.Robot para colocación de planchas Boarman -100. *Construction Robots. The search for new building technology in Japan.*

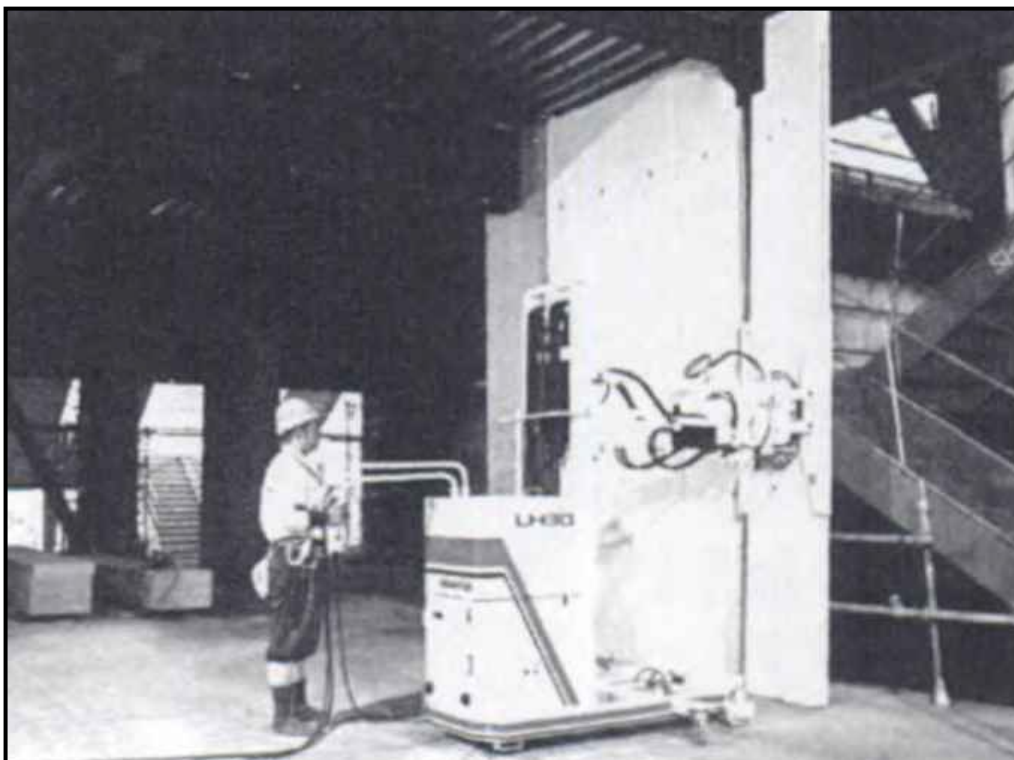


Fig.32. Robot Mighty Hand. *Construction Robots. The search for new building technology in Japan.*

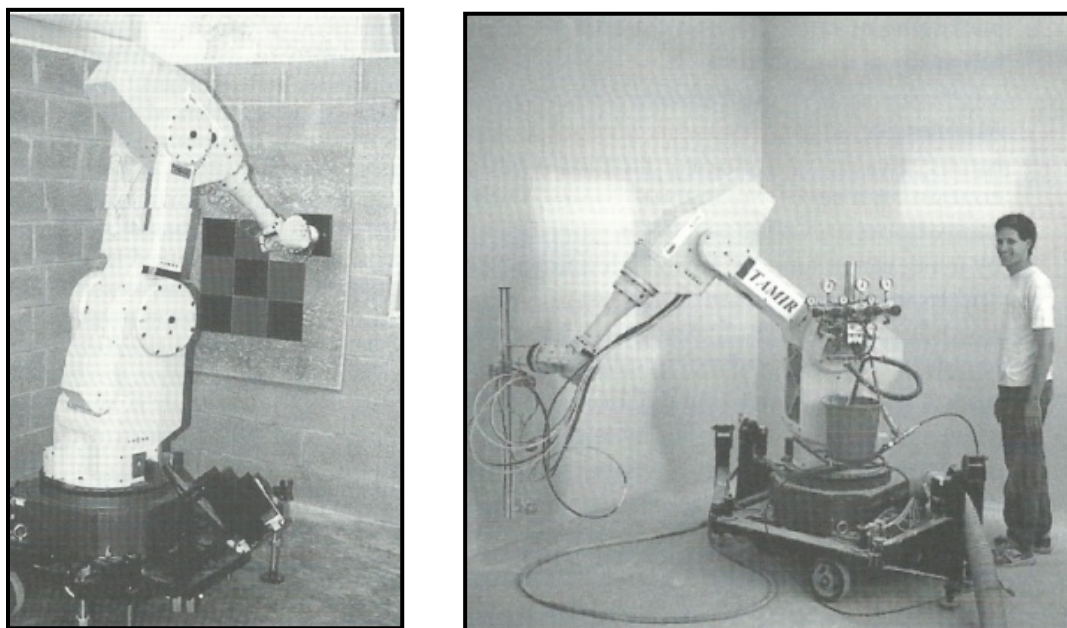


Fig.33. TAMIR. Interior finishing building robot, TAMIR. Institute of Technology Israel.

Otra referencia de robot de servicio desarrollado en Israel, es TAMIR³⁶ cuyas siglas responden a: *Technion Autonomous Multipurpose Interior Robot*, es ayudante capaz de llevar a cabo tres tareas diferentes: ejecución de particiones interiores, revestimientos interiores como pintado o enyesado e instalación de baldosas [Fig.33].

También forman parte de esta primera generación de “ayudantes” LUCIE, STARLIFTER, o el LSM. Robots desarrollados para abordar las diferentes fases de la construcción de un inmueble, desde la excavación hasta el traslado de pesados materiales o incluso la ejecución de tareas a distancia.

LUCIE es un ejemplo de robot autónomo desarrollado por la Universidad de Lancaster³⁷, para realizar los trabajos de excavación de zanjas adaptándose a los distintos tipos de terreno, haciendo frente a los obstáculos que se le puedan presentar, sin la intervención humana.

STARLIFTER³⁸ fue principalmente diseñado para el uso de pesadas herramientas en las tareas de construcción, por lo tanto su abanico de tareas es mucho más amplio. Se trata de un robot portátil accionado hidráulicamente que puede operar en cualquier orientación conectándolo sobre una grúa telescópica convencional. La pluma telescópica se acoge al adaptador de la base del robot trasladándolo al lugar de trabajo, de manera que el robot es controlado por un operador a distancia [Fig.34].

³⁶ Rosenfeld, Yehiel. *Interior Finishing Building Robot “TAMIR”*. National Building Research Institute . Israel.

³⁷ Seward, Dereck. *LUCIE the robot Excavator- Desing for System Safety*. Lancater University, UK. 1996.

³⁸ Khaled Zied, Derek. *The development of a robotic system for tool deployment in hazardous environments*. Department of Engenieering, Lancaste University, UK.

El Large Scale Manipulator ó LSM³⁹ desarrollado por la universidad de Texas, fue originalmente concebido como un manipulador dispuesto sobre el extremo de una grúa para el manejo y colocación de pesadas tuberías. Se puede considerar como un antepasado del antes mencionado STARLIFTER [Fig.35].



Fig.34. STARLIFTER. *The development of a robotic system*



Fig.35. LSM. *Industrialized and Automated Building Systems.*

³⁹ University of Texas. *Performance Testing of a Large Scale Manipulator.*

4.4.2 REFERENCIAS ACTUALES

Los robots presentados representan la fase inicial de los robots de servicio, aunque muchos de ellos siguen en funcionamiento tras sufrir modificaciones, la evolución continúa y en estos momentos además de éstos nos encontramos con nuevas máquinas capaces de escalar por fuertes pendientes para la colocación de pernos de anclaje o de realizar la instalación y el mantenimiento de un campo de colectores solares.

A continuación se presentan algunos ejemplos del estado en el que se encuentra la robótica de servicios actual. Ejemplos que se corresponden con los avances realizados a los robots de primera generación, y ejemplos de robots desarrollados con nuevas aplicaciones en la construcción.

▪ PICTOR

Pictor⁴⁰ forma parte de la nueva generación de robots diseñados para acabados exteriores, representada inicialmente por el modelo de empresa TAISEI (desarrollado en apartado “primeras generaciones”). Se trata de un concepto de robot para pintado de fachadas en lugares de riesgo, como edificios altos o plantas industriales. El robot, todavía en fase de proyecto, es capaz de escalar por las fachadas debido a que en sus extremidades están diseñadas con nano-recubrimientos⁴¹ que facilitan su adhesión a la pared. Este pequeño robot dispone de un escáner láser y un sensor de color además de un tanque de almacenamiento del material [Fig.36].



Fig.36. PICTOR. Consulta web <http://www.volkerjantzen.com/pictor>

⁴⁰ Volker, Jantzen. 8th semester diploma HfG Shwäbisch Gmünd (Prestigioso centro de diseño Aleman). Consulta web <http://www.volkerjantzen.com/pictor> (Consultado Marzo 2014)

⁴¹ Nano-recubrimientos: La nanotecnología consiste en el desarrollo, fabricación y aplicación de sistemas que se conforman de componentes de tamaño nanométrico (9-10 nm)

▪ GGR

Puede que se trate de los robots de servicio más empleados, supone la visión moderna del Boarman-100, o el CFR-1, diseñados para el traslado de materiales pesados. Al igual que esos primeros prototipos los robots GGR⁴², se emplean principalmente para el montaje de gran variedad de materiales, están formados por un cuerpo de grúa con un cuadro de succión en la cabeza lo que los hace fácilmente manejables y versátiles [Fig.37].



Fig. 37. Robot GGR. Revista ICE "Automatización construction in Japan".

▪ BROKK y ERO

Puede que una de las tareas más peligrosas realizadas en construcción sean los trabajos de demolición. Los robots Brokk están concebidos para realización de tareas de demolición con el objetivo de mejorar la seguridad de los operarios.

Los robots Brokk, desarrollados por una empresa sueca que les da su nombre, son manipuladores teleoperadores explícitamente diseñados para uso en todo tipo de demoliciones [Fig.38].

El robot ERO⁴³ se concibe como la solución eficiente de la demolición, un paso por delante de los robot Brokk, ERO, todavía en fase de prototipo, fue el ganador del proyecto *International Desing Excellence Award (IDEA)* en 2013. Omer Haciomeroglu, su creador, presenta un robot capaz de reciclar el hormigón, el acero y otros productos resultado de la demolición.

⁴² Mark Taylor, San Wamuziri, Ian Smith. *Automation construction in Japan*. Prodecings of ICE.

⁴³ Franco, José Tomas. *Robot que come hormigón*. Septiembre 2013. Consulta web <http://platafomaarquitectura.cl> (Consultado Marzo 2014)

Las máquinas pesadas utilizadas en demolición consumen grandes cantidades de energía con el fin de convertir muros de hormigón en pequeños trozos, proceso que va acompañado de grandes cantidades de agua rociadas sobre las estructuras para evitar la dispersión de polvo. Una vez realizado el trabajo los escombros deben ser transportados a las estaciones de reciclaje en las que los residuos son separados manualmente. ERO Concrete Recycling Robot permite desmontar de manera eficiente estructuras de hormigón sin residuos ni polvo.

Este robot inteligente tiene la opción de cambiar entre los modos de pulverización y deconstrucción inteligente, separando el hormigón paso a paso. Permite por lo tanto recuperar los materiales de construcción para ser reutilizados. Después de la deconstrucción, la succión y la separación del cemento el robot recicla el agua para ser usada nuevamente en el sistema [Fig.39].



Fig. 38. Robot Brokk. Revista ICE "Automatización construction in Japan".

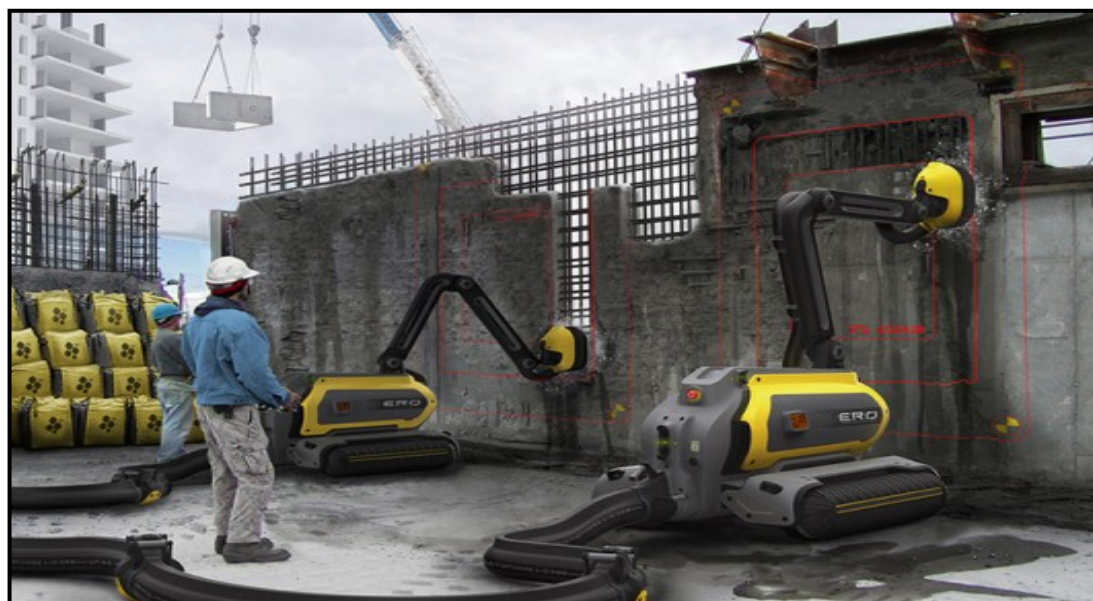


Fig. 39. ERO Concrete Recycling Robot. Consulta web <http://www.plataformaarquitectura.cl>

▪ TITAN XI.

TITAN⁴⁴, uno de los más novedosos prototipos desarrollados. Aunque su ámbito de aplicación no concierne explícitamente a la construcción de viviendas si está involucrado en esta industria. TITAN, es un robot cuadrúpedo, especialmente diseñado para la ejecución de trabajos sobre superficies con fuerte pendiente. En la construcción de carreteras o entornos con fuertes desniveles, las máquinas de construcción con ruedas u orugas dañan las estructuras construidas para el refuerzo del terreno, para salvar este inconveniente se desarrolla TITAN XI ; un robot cuadrúpedo, autónomo, que transporta un taladro para realizar profundos agujeros en los que hundir pernos de anclaje en la rocas de laderas de fuerte pendiente, sobre las que se desplaza con facilidad [Fig.40].



Fig. 40. TITAN XI. Artículo *Development of TITAN XI*. Tokyo Institute of Technology . Japan.

▪ ROVER Y SPOT.

La compañía de California Alion Energy⁴⁵ anuncia en junio de 2013 su intención de impulsar la eficiencia energética a través de la introducción de una solución automatizada para la construcción y mantenimiento de parques de energía solar a gran escala. Los dos mecanismos que integran este proyecto son ROVER y SPOT [Fig.41] . Rover trabaja con ahínco levantado paneles e instalándolos uno a uno en un soporte de hormigón, mientras que Spot se mueve a lo largo de una fila de paneles, para eliminar el polvo acumulado durante meses.

⁴⁴ Ryuichi Hodoshima, Takiro y Yasushi Fukuda, Shigeo. *Development of TITAN XI*. Tokyo Institute of Technology . 2004. Japan.

⁴⁵ Bignall, Ian. *California company says robots can aid solar farm efficiency*. Junio de 2013. Consulta web <http://www.thebusinessofrobotics.com> (Consultado Marzo de 2014)

En los últimos años, el sector de la energía solar ha reducido enormemente los costes de las centrales, principalmente porque el precio de los paneles ha bajado más de un 70 % en 2008. Ahora el sector está centrando su atención en encontrar otros elementos en los que poder ahorrar. Los módulos descendieron hasta un 35 % desde el 2010, mientras que la mano de obra, la ingeniería y los permisos subieron del 9 % al 15% del coste del sistema, en ese mismo período, según *Greentech Media* que realiza seguimientos en el sector.

A pesar de lo mucho que se está fomentado la innovación en el sector, la tarea de montar paneles en el suelo ha permanecido casi invariable en los últimos años. Se trata de un proceso caro y duradero que puede requerir de centenares de millones de tornillos, y una vez instalados deben mantenerse libres de polvo y vegetación para asegurar el correcto funcionamiento de los módulos, por lo que los costes de mantenimiento también son elevados.

La aplicación por lo tanto de estos nuevos robots en las instalaciones de granjas solares, fomenta la productividad a la vez que se reducen los costes. De hecho, a fecha de publicación del artículo (Junio 2013), Rover y Spot estaban listos para ser implantados en tres proyectos repartidos entre California, Arabia Saudí y China.



Fig. 41. Rover y Spot. Consulta web: [http:// www.thebusinessofrobotics.com](http://www.thebusinessofrobotics.com)

▪ RTS (Robotic Tracking System)

Siguiendo por la rama de la energía solar, nos topamos con el sistema *Robotic Tracking System* ó RTS ^{TM46} de la compañía californiana Qbotix. Esta nueva aplicación de robótica es capaz de controlar las operaciones de seguimiento, inclinando los paneles para que sigan el movimiento del sol.

RTS está compuesto por un robot, Solbot, que se desplaza a lo largo de un raíl de acero dispuesto en el campo de captadores solares. Cuando Solbot se acerca a un panel, se adhiere al sistema de orientación dispuesto en su base, para ajustar el movimiento de los paneles de cara al sol, y optimizar de esta forma la energía captada.

Solbot es un robot autónomo que puede manejar hasta 340 KW de paneles simultáneamente. Se desplaza automáticamente entre cada panel en intervalos regulares para realizar los ajustes necesarios [Fig.42] .

Según datos aportados por la compañía, el sistema RTS puede obtener hasta un 40% más de electricidad que un sistema fijo, este beneficio permite a los promotores construir sistemas más pequeños y baratos.

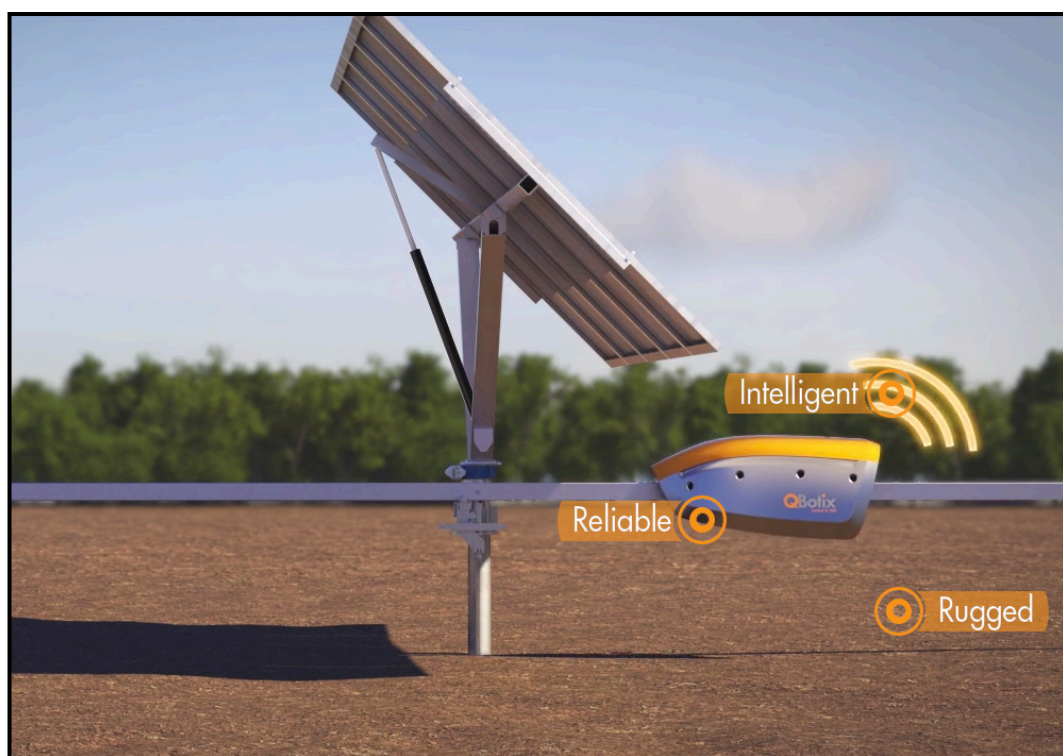


Fig. 42. Robotic Tracking System . Consulta web <http://www.qbotix.com>

⁴⁶ The Robotic Tracking SystemTM. Qbotix. *Solar powered by robotics*. Consulta web <http://www.qbotix.com> (Consultado en Marzo de 2014)

- **SAM (Semi – Automated Mason)**

*Construction Robotics*⁴⁷, es una compañía de Nueva York centrada en el avance de la construcción a través de la utilización de las nuevas tecnologías, que en 2013 presenta el prototipo de un robot capaz de colocar hasta 3000 ladrillos en un día. SAM48 es un sistema semi automático que consta de un brazo robótico acoplado a un chasis, que mediante sensores láser ejecuta los trabajos de mampostería previamente cargados en su memoria como “plantillas” de CAD. Una vez realizada la tarea pre programada SAM espera a su operador para desplazar los mástiles del andamiaje a la siguiente área de trabajo. Su principal inconveniente es que su movilidad es un poco reducida debido a su peso, por este motivo debe ser desplazado mediante una carretilla elevadora.

Se empleará principalmente para proyectos comerciales más amplios, como hospitales, escuelas, almacenes, proyectos en los que se requiera de la colocación de grandes cantidades de ladrillo. Aunque su precio final todavía no está establecido, se espera que los contratistas puedan ver un retorno de su inversión en SAM en menos de tres años.

Actualmente se encuentra en pruebas beta pero está programado que pueda estar disponible comercialmente en 2015 [Fig.43] .

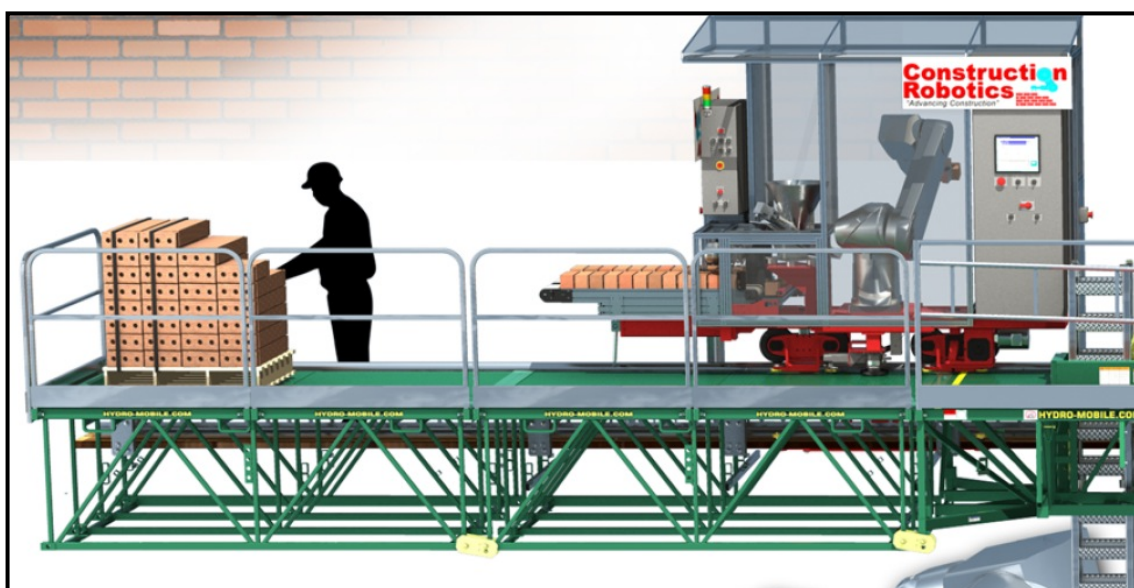


Fig. 43. *Semi automated mason* . Consulta web <http://www.construction-robotics.com>

⁴⁷ Construction Robotics. Advancing Construction. Consulta web <http://www.construction-robotics.com> (Consultado Marzo 2014)

⁴⁸ Para ampliar documentación y visionar ejemplos de su aplicación se recomienda visitar la web <http://construction-robotics.com>

▪ R-O-B

Ubicado en un contenedor de carga modificado, ROB supone un concepto de fabricación que facilita la flexibilidad de la ejecución de los elementos de construcción. Combina las ventajas de la prefabricación – precisión y alta calidad – con las ventajas de la producción *just in time* en obra.

Para que los robots prevalezcan con éxito en la industria de la construcción y se vuelvan realmente relevantes para el diseño arquitectónico, es necesario un nuevo enfoque conceptual: el robot ya no sólo es una máquina capaz de acelerar los tiempos de construcción, sino que se trata de un agente que abre nuevas posibilidades dentro del diseño arquitectónico que permite concebir nuevos diseños y elementos de construcción.

La fabricación asistida por ordenador se ha convertido en la corriente principal, que permite el control directo de las máquinas de producción creando diseños personalizados. El potencial para el diseño arquitectónico ofrecido por esta tecnología determina que el control numérico, favorece por un lado la fabricación de objetos desde su descripción digital permitiendo al diseñador la participación a fondo en el proceso confiriéndole alta diferenciación al proyecto, y por otro, además del control digital, los robots industriales permiten la intervención física en el proyecto pudiendo alcanzar cualquier posición en el espacio de acuerdo con sus grados de movimiento.

La unidad de fabricación ROB recoge este nuevo enfoque conceptual, que respeta la singularidad de la industria de la construcción mientras se beneficia de las ventajas de la automatización.

ROB consta de un robot industrial montado sobre un eje lineal alojado en un contenedor de carga adaptado pero de tamaño estándar. Puede ser fácilmente transportado directamente al lugar de construcción donde puede prefabricar con alta precisión cualquier tipo de elemento constructivo.

El diseñador tiene la posibilidad de intervenir y alterar el proceso de fabricación debido a las posibles modificaciones que se producen durante la ejecución de la obra.

ROB muestra un enfoque radicalmente diferente a la robótica aplicada en fabricación industrial, al utilizar el robot no sólo como un medio para la automatización, sino como una herramienta de diseño [Fig.44] .

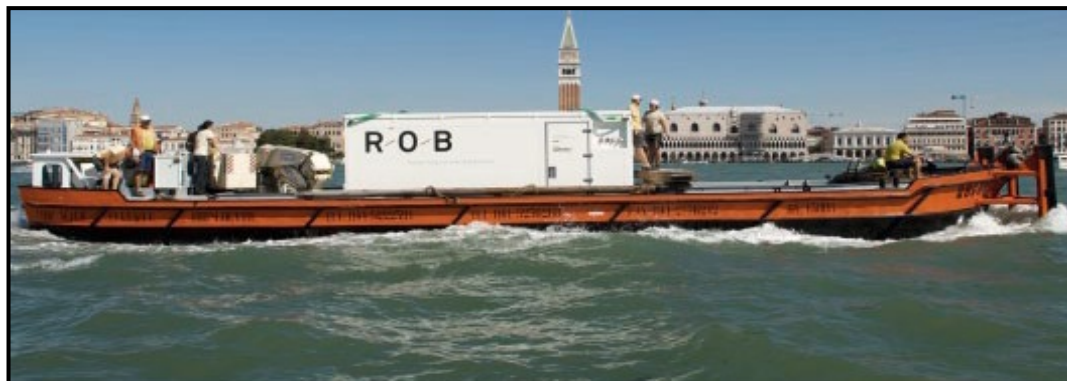




Fig. 44. ROB. Fuente: Tobias Bonwetsch, Fabio Gramazio and Matthias Kohler. *R-O-B Towards a Bespoke Building Process.*

▪ dimROB

El experimento dimROB⁴⁹ tiene como objetivo examinar y mostrar estrategias para manejar la imprecisión y las tolerancias en la construcción. Estas desviaciones y tolerancias son únicas porque se producen en el lugar de construcción, donde el producto (es decir, el edificio) es considerablemente más grande que la herramienta de fabricación.

En una obra, el robot ya no está operando en un ambiente controlado y por lo tanto está en la necesidad de habilidades cognitivas: percepción de los objetos de montaje, así como condiciones de contexto (tolerancias de sitio, reubicación), además debe ser tolerante a fallos y adaptarse de forma autónoma a las condiciones cambiantes.

En la investigación realizada por Gramazio y Kohler (2012)⁵⁰ la responsabilidad de toma de decisiones es compartida entre el humano y la máquina, por lo que la máquina debe resolver de forma autónoma problemas que no pueden ser abordados de forma eficiente por su homólogo humano.

A lo largo de la investigación se realizaron varias tareas para abordar los requisitos particulares de cada trabajo de construcción, para lo que se eligió el robot compacto ABB IRB 4600 de bajo peso y alta carga, montado sobre una base impulsada por un motor diesel y equipado con scanner 2D para la detección de tolerancias y 3D para la detección de objetos.

El objetivo principal de esta investigación es identificar las diferentes aplicaciones en distintos escenarios e ilustrar los diversos sistemas de comunicación y obtención de datos. Se busca un sistema de fabricación que sea capaz de responder a los imprevistos surgidos de las discrepancias entre la planificación y la ejecución.

Aunque no se trata de un robot de servicio en sí, se ha mencionado esta investigación para dar a conocer la dirección de los estudios que actualmente se realizan sobre robots donde se busca una completa interacción hombre – máquina que resuelva las diferencias entre planificación y producción, dejando a un lado la visión únicamente productiva de los robots de servicio [Fig.45].

⁴⁹ Consulta web <http://www.echord.info/blog/dimrob> (Consultado Mayo 2014)

⁵⁰ Fabio Gramazio y Matthias Kohler. *Mobile Robotic Fabrication on Construction Sites:dimRob*. IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems. Diciembre 2012.

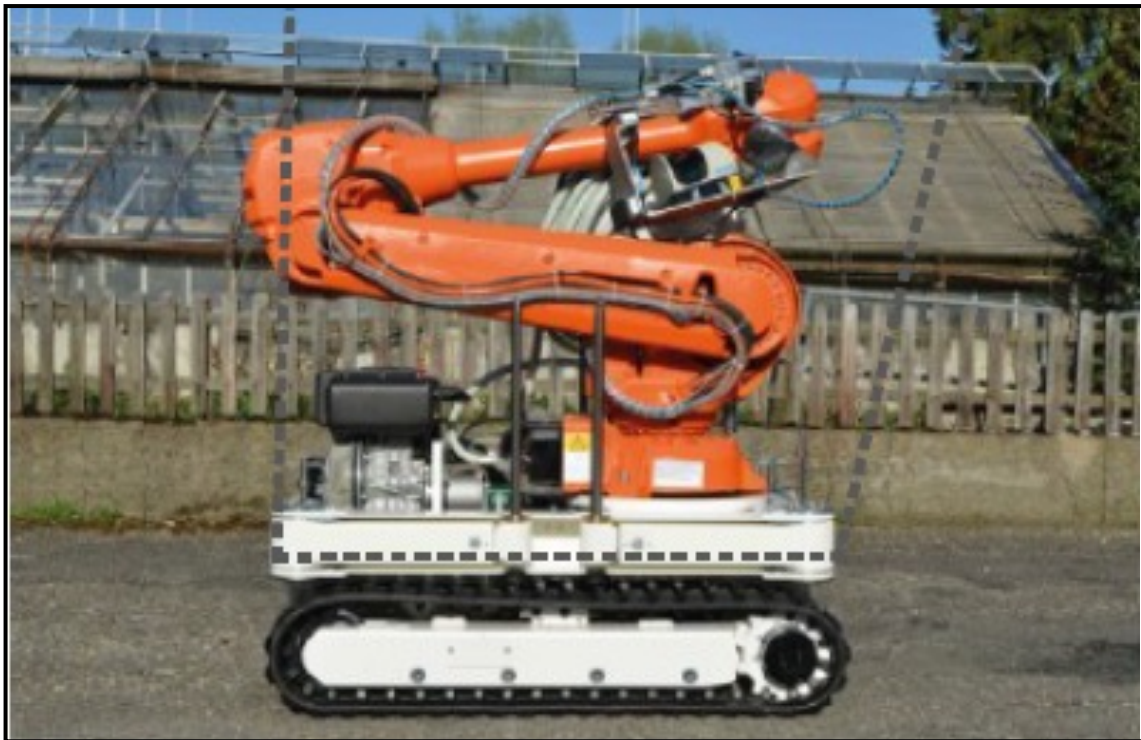
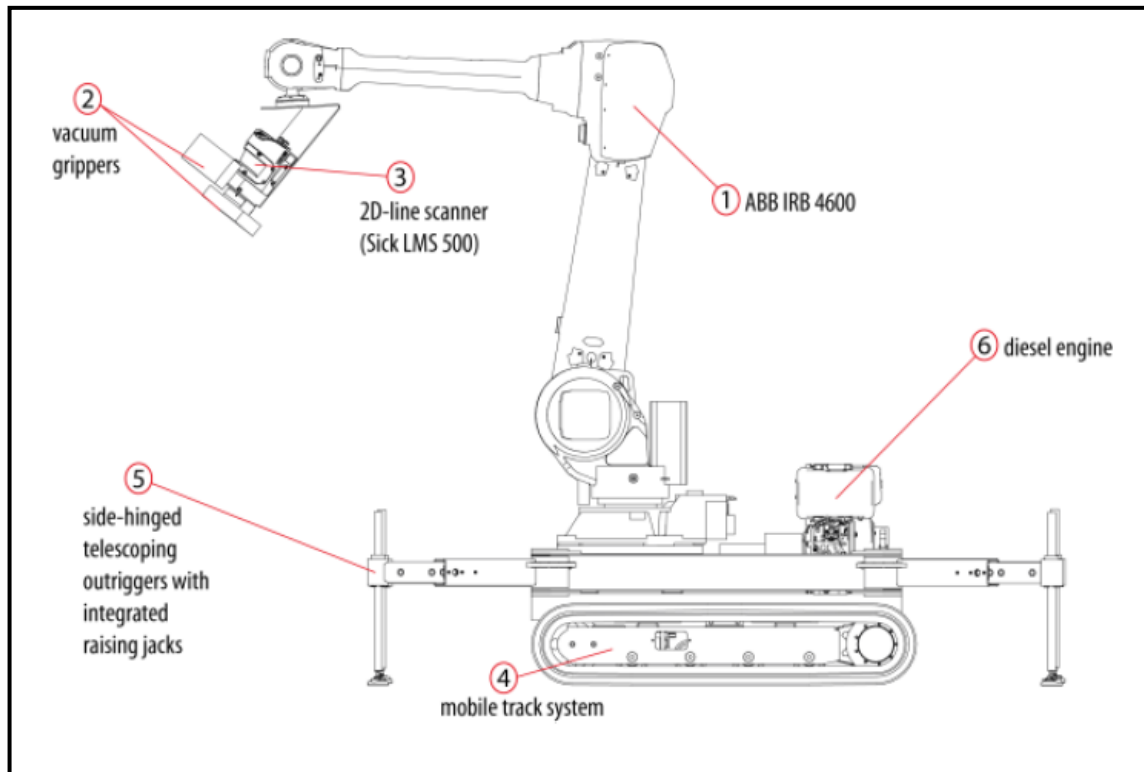


Fig. 45. dinROB. Fuente: Volker Helm, Selen Ercan, Fabio Gramazio and Matthias Kohler. *Mobile Robotic Fabrication on Construction Sites: dimRob*

4.5. ROBOTS HUMANOIDES ¿LOS FUTUROS OPERARIOS?

Robots como los antes mencionados, y otros muchos, han ido evolucionando hasta el día de hoy para seguir mejorando la ejecución de las diferentes tareas de construcción para la que fueron desarrollados, sin embargo la pregunta es si los robots han evolucionado y seguirán evolucionando tanto para convertirse en los futuros operarios de la construcción.

Ya se ha demostrado que robots como el HRP-2⁵¹ pueden llevar a cabo, junto con un trabajador especializado trabajos de carpintería, cuando estos robots son incorporados al trabajador, pueden ser utilizados por ejemplo, como brazo adaptable y flexible. Estas tecnologías son conocidas como robots humanoides y exoesqueletos que están ganando cada vez más posiciones en las aplicaciones de la robótica a la construcción.

T. Bock y W. Ikeda⁵² clasifican a los robots humanoides en función de la capacidad para diseñar tareas de trabajo y los escenarios de aplicación. Así nos encontramos con subsistemas (exoesqueletos parciales), sistemas completos (exoesqueletos completos o robots de movilidad) y robots autónomos.

Con los ejemplos que a continuación se presentan se pretende dar a conocer el nivel actual de robotización del operario que nos podemos encontrar y así demostrar las facilidades que éstos nos proporcionan.

Power Effector. Desarrollado por el equipo del proyecto MMSE es un robot que aumenta la fuerza de una parte del cuerpo humano, por lo tanto se trata de un subsistema. El Power Effector amplifica el poder humano en miles de veces. Con esta tecnología se pretendía reforzar el trabajo físico pesado que requiere de la presencia y la experiencia de un trabajador [Fig.46].



Fig. 46. Power Effector. *Exoskeleton and Humanoid Robotic Technology in Construction and Built Environment.*

⁵¹ HPR-2, robot humanoide desarrollado en base al proyecto HPR del Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón, en el que se mejoran la capacidad de locomoción y movimiento del primer prototipo.

⁵² T.Bock, T. Linner y W. Ikeda. *Exoskeleton and Humanoid Robotic Technology in Construction and Built Environment*. Technische Universität München, Germany.

PowerEffector	
Desarrollador	MMSE Project Team
Director	KatsuyaKanaoka
Investigador	RitsumeikanUniversity
Propósito	Aumento de la fuerza de las extremidades superiores
Rendimiento	Brazo: 50 kg - Empuñadura: 500 kg
Altura	1550 mm
Ancho	1200 mm
Longitud	3360 mm
Peso	120 kg
Manejo	AC Servo Motor
Sistema	Tornillos
Fuente de alimentación	AC PowerSupply
Sensor	Sensor de fuerza de 6 ejes

Power Assit Globe: desarrollado por los investigadores de la Universidad de Okayama este músculo artificial es una combinación de materiales que permite aumentar la potencia de quien lo emplea. Esta categoría representa los dispositivos robóticos que equipan una parte del cuerpo humano y apoyan sus movimientos.



Apoya a los trabajadores en movimientos simples y continuos, como agarrar palancas y levantar materiales de construcción pesados. Habilita de esta forma a trabajadores debilitados o envejecidos para continuar trabajando [Fig.47].

Fig.47. Power Assit Globe. *Exoskeleton and Humanoid Robotic Technology in Construction and Built Environment.*

Power Assist Glove	
Desarrollador	Okayama University
Director	Noritsugu Toshiro
Tecnología	Prototipo
Preparación	Proyecto de desarrollo
Usuario final	Trabajadores de edad avanzada y mujeres en trabajos pesados
Propósito	Ayudar al movimiento de flexión, aumentar la fuerza de agarre
Peso	120 Kg

Walking Assist y Smart Suit: estos sistemas representan a los robots portátiles que ayudan a los usuarios durante el trabajo continuo. HONDA ha desarrollado varios dispositivos de asistencia basados en la tecnología ASIMO. Los supuestos usuarios no están deshabilitados pero necesitan de apoyo [Fig.48].



Walking Assist Device with Bodyweight Support System	
Desarrollador	Honda
Usuario final	Trabajadores de fábricas
Tecnología	Prototipo probado en fábricas
Peso	6,5 Kg.
Sistema de accionado	Dos motores
Fuente de alimentación	Batería recargable de litio
Autonomía	2 horas
Mociones de apoyo	Caminar, subir escaleras, posición semi-cuclillas
Sensor	Sensores de fuerza de pies

Smart Suit	
Desarrollador	Smart Support
Director	Takayuki Tanaka, Hokkaido
Investigador	Universidad
Usuario final	Trabajadores de la agricultura, asistentes, etc.
Tecnología	Prototipo probado en restauración
Modelos	Smart Suit, Smart Suit Light
Peso	1 Kg / 400 gr
Fuente de alimentación	Batería
Reducción de la fatiga	14%
Sensor	Sensor de flexión.

Fig.48. Walking Assit y Smart Suit. *Exoskeleton and Humanoid Robotic Technology in Construction and Built Environment.*

Robot Suit HAL: es un conocido exoesqueleto japonés que está especializado en la detección de señales corporales que la superficie de la piel genera cuando una persona intenta avanzar. Este producto se utiliza actualmente en varios hogares de ancianos para ayudar a personas mayores. Su aplicación en construcción es apoyar a los trabajadores en el montaje y levantamiento de construcción pesada y voluminosa [Fig. 49].

A modo de curiosidad, mencionar, para los que están familiarizados con la saga de películas de Alien, que pueden recordar cómo la heroína Ripley, usa un traje robótico para luchar contra uno de los Aliens, en la segunda entrega Aliens: El regreso (1986).



HAL: Hybrid Assistive Limb	
Desarrollador	CYBERDYNE
Director	Yoshiyuki Sankai
Usuario final	Personas debilitadas físicamente
Tecnología	Contrato en hogares de ancianos y centros de bienestar
Precio	4-5 millones de yenes
Altura	1600 mm
Peso	23 Kg
Fuente de alimentación	AC 100 V batería
Autonomía	2 horas y 40 minutos

Fig. 49 .Robot Suit Hal . *Exoskeleton and Humanoid Robotic Technology in Construction and Built Environment.*

HRP-2 Promet: es un sistema autónomo complejo que se adapta a los cambios en el medio ambiente, su apariencia, función y capacidad de movimiento dependen totalmente del cuerpo humano. Estos robots humanoides pueden ayudar a los trabajadores mediante la realización de piezas de construcción [Fig.50].

HRP- 2 Promet	
Desarrollador	Kawada Industries
Altura	1540 mm
Ancho	620 mm
Peso	58 Kg (baterías incluidas)
Velocidad de caminata	0-2 Km/h
Fuente de alimentación	Batería NiMH DC 48 V
Sensor	23 Kg
Fuente de alimentación	AC 100 V batería
Autonomía	2 horas y 40 minutos
Sensor	Cámara trinocular, 3 ejes vibrantes, sensor de aceleración, brazos y piernas con 6 grados de libertad

Fig.50. Robot HRP-2 . *Exoskeleton and Humanoid Robotic Technology in Construction and Built Environment*.

Los exoesqueletos y la tecnología humanoide no solo permiten aumentar las capacidades sino que crean herramientas que son capaces de aumentar el rendimiento a fin de lograr ciertos objetivos especialmente en actividades peligrosas, sucias y tediosas. Con cada nueva generación de robots se abrirán nuevas posibilidades en ambientes extremos.

Lamentablemente deben ocurrir sucesos fatídicos que nos hagan visualizar la realidad del estado de los proyectos, y darnos cuenta de que realmente únicamente se trata de eso “prototipos” que todavía no tienen una aplicación inmediata. Por esto, tras el desastre de Fukushima en Japón, la DARPA⁵³, una división del departamento de defensa de EEUU, dirigió su financiación al desarrollo de tecnologías emergentes centradas en las tareas que un ser humano podría realizar en un escenario después de una tragedia de similares magnitudes a la de Fukushima. Está explorando como los ingenieros pueden aplicar las ventajas de la robótica a los impredecibles entornos de zonas de desastre, y por extensión, a situaciones de trabajo en el mundo real, tales como los espacios de trabajo en la construcción. Este hecho, podría suponer el impulso que acelere la implantación de los robots humanoides en el sector de la construcción [Fig.51].

⁵³ DARPA : *Defense Advanced Research Projects Agency* , es una agencia del departamento de defensa de Estados Unidos responsable del desarrollo de nuevas tecnologías para uso militar. <http://darpa.mil> (Consultado Marzo 2014)

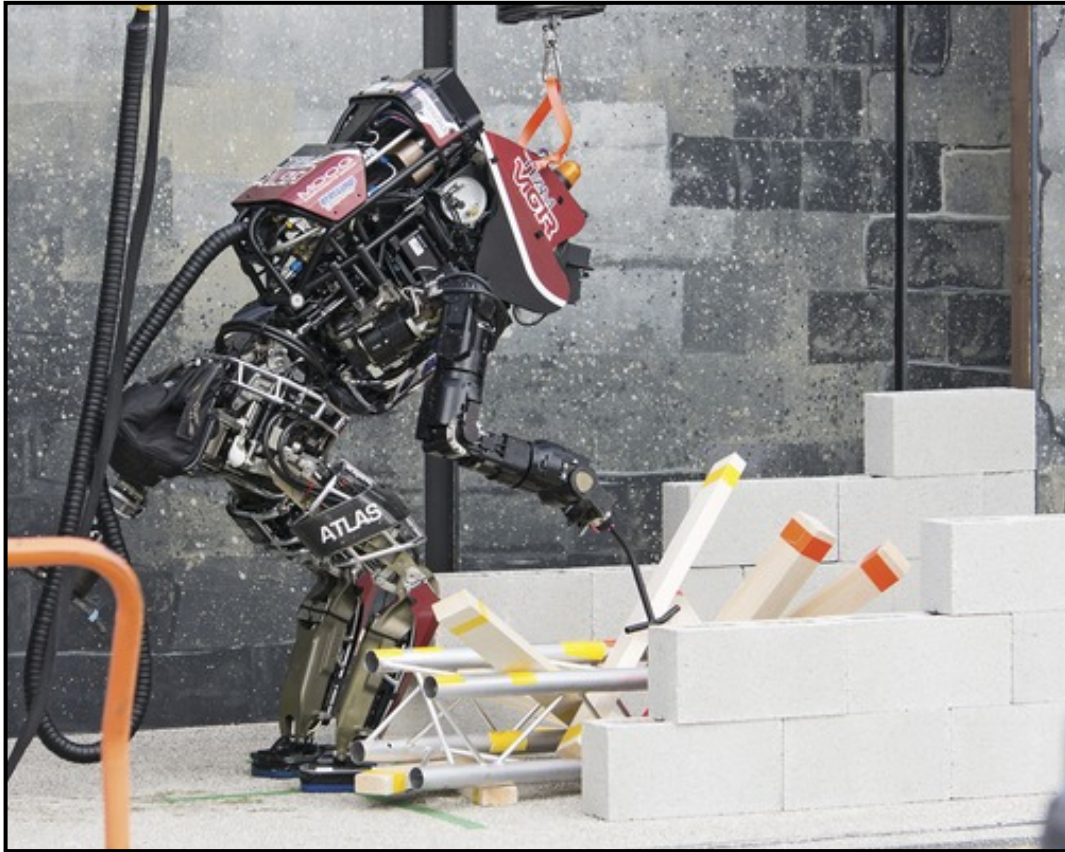


Fig.51. Imagen de un robot DARPA . *Robots on the Jobsite advancing in construction.*

**PROCESOS DE AUTOMATIZACIÓN
EN EDIFICACIÓN**

5

PROCESOS DE AUTOMATIZACIÓN EN EDIFICACIÓN

A la vista de las mejoras de productividad y beneficios que proporciona la aplicación de la robótica en la construcción, la automatización de los procesos se ha ido abriendo paso en el sector.

Como ocurre con los robots de construcción, a la cabeza de esta investigación se encuentra Japón donde se desarrollan la mayoría de los sistemas automatizados. Presentando en 1991, el primer edificio de 20 plantas construido por un sistema automatizado.

Entendiendo por sistema automatizado, aquel sistema de automatización diseñado con el fin de usar la capacidad de las máquinas para llevar a cabo determinadas tareas anteriormente efectuadas por la intervención humana.

Los sistemas de construcción automatizada se caracterizan por contener cuatro componentes fundamentales: un recinto protegido de las inclemencias del tiempo, un sistema de elevación y transporte automático, la automatización de los materiales y por último y más importante, un sistema centralizado de control de información.

En este capítulo se presentan algunas de las plataformas automatizadas más implantadas en la construcción así como otros procesos automatizados, como la ejecución de fachadas o cerramientos.

5.1. LOS PIONEROS

Como consecuencia de los beneficios aportados de la robotización de tareas simples, en la década de los ochenta se comenzaron a explorar la aplicación de los principios de la fabricación industrializada al sector de la construcción. Los sistemas que a continuación se presentan suponen la primera aplicación a gran escala de la automatización de la construcción.

▪ SMART SYSTEM

El sistema SMART⁵⁴ (*Shimizu Manufacturing System by Advanced Robotics Technology*) es un sistema de construcción automatizada integrada que automatiza una amplia gama de procedimientos de construcción, incluyendo el montaje y soldadura de estructuras de acero, colocación de paneles de hormigón, instalación de módulos de fachada e instalación de otras unidades, todo ello bajo su recubrimiento resistente a la intemperie. Shimizu Corporation introdujo el sistema en 1993, en la construcción de una parte del proyecto de un edificio de oficinas en Nagoya.

SMART asegura un entorno de trabajo seguro y cómodo, y también proporciona un ajuste de la construcción, que no se ve afectada por las inclemencias climatológicas, mejorando de esta forma la reducción de las horas de trabajo de la mano de obra. Responde a la demanda social existente de protección del medio ambiente, ya que busca reducir los materiales de desecho de la construcción.

En el sistema SMART la plataforma de protección se monta por primera vez en el suelo. Mientras esta plataforma se levanta piso a piso, en los niveles inferiores se realizan otros trabajos de acabado. El techo y todas las partes del perímetro de la planta en construcción están completamente cubiertas por láminas de protección, del mismo modo los paneles de fachada son instalados antes de que la plataforma se eleve por lo que nunca se verá expuesto al viento o la lluvia.

SMART emplea cinco tecnologías diferenciadas: un sistema automatizado de elevación, un sistema de transporte automatizado, un sistema de montaje de estructuras de acero, un sistema de soldadura automatizada y por último, un sistema de gestión de la información.

Sistema de elevación: el sistema de elevación está compuesto por cuatro torres de apoyo que soportan toda la operación de la plataforma. Durante los trabajos de la planta, las bases de las torres están apoyadas en las vigas de acero del edificio, en la operación de elevación, tres cilindros hidráulicos suben la plataforma unos cuatro metros para apoyarse sobre las vigas de la planta superior. Una vez que la plataforma está asentada sobre las vigas de acero de la planta superior las propias torres de elevan para completar los trabajos en ese nuevo nivel.

⁵⁴ J.Maeda. *Deleopment and Application of the SMART System*. Automation and Robotics in Construction XI. Japan 1994.

Yusue Yamazaki and Junichiro Maeda. *The SMART system: an integrated application of automation and information technology in production process*. Computers in Industry. Japan 1998.

Sistema de transporte automatizado: para el transporte de los muchos tipos de materiales el sistema cuenta, con puentes grúa, elevadores para transporte horizontal y una grúa vertical que asciende y desciende en lugar de las grandes grúas torre. Cada elemento se entrega y se identifica por su código de barras, por lo que el sistema genera automáticamente la trayectoria específica de la instalación.

Sistema automatizado de montaje de estructuras de acero: una vez que las columnas están en su lugar, se activa el sistema de medición laser específicamente desarrollado para este sistema. Un rayo laser producido por un aparato emisor instalado en la parte superior de la columna mide la inclinación de la columna para corregir las posibles desplazamientos en su colocación. Este sistema también es empleado para determinar la precisión de una planta completa después de la finalización de los trabajos de soldadura.

Sistema de soldadura automatizada: la soldadura entre columnas y de viga a columna se realiza por medio de robots. El robot hace que sea posible soldar automáticamente toda la ranura de una columna. Debido al alto nivel de automatización, se requiere de un solo operador para el control de hasta tres robots de soldadura, por lo tanto da lugar a la reducción de la mano de obra necesaria.

Sistema de gestión de la información: se introduce un sistema de gestión integrado por ordenador, a efectos de controlar la gestión de todos los puestos de trabajo. Los sistemas de control de seguridad, control de calidad, planificación y gestión de equipos temporales, la coordinación en general se operan a través de la oficina de campo situada a pie de obra.

La evaluación de este sistema se llevó a cabo durante su primera aplicación en el edificio de Nagoya (Joruku Bank), cuya construcción se inició en octubre de 1991 y se dio por finalizada con éxito en febrero de 1994. En este proyecto quedó demostrado que gracias a la implantación de esta estructura de protección se produjo un ahorro del 50 % de la mano de obra y un aumento de la productividad en un 20%, que se traduce en un ahorro global de aproximadamente un 30 %. [Fig.52-54]



Fig. 52. Imagen del Joruku Bank con el sistema SMART. *Development and application of the Smart System.*

Desde esta primera aplicación hace ya casi 18 años, la compañía Shimizu ha seguido mejorando la aplicabilidad del sistema, conocido en la actualidad como NEW SMART SYSTEM⁵⁵ [Fig.55], capaz de automatizar los procesos de construcción en todo tipo de clima, en edificios de gran altura, no sólo, en estructuras de acero sino que también en estructuras de hormigón.

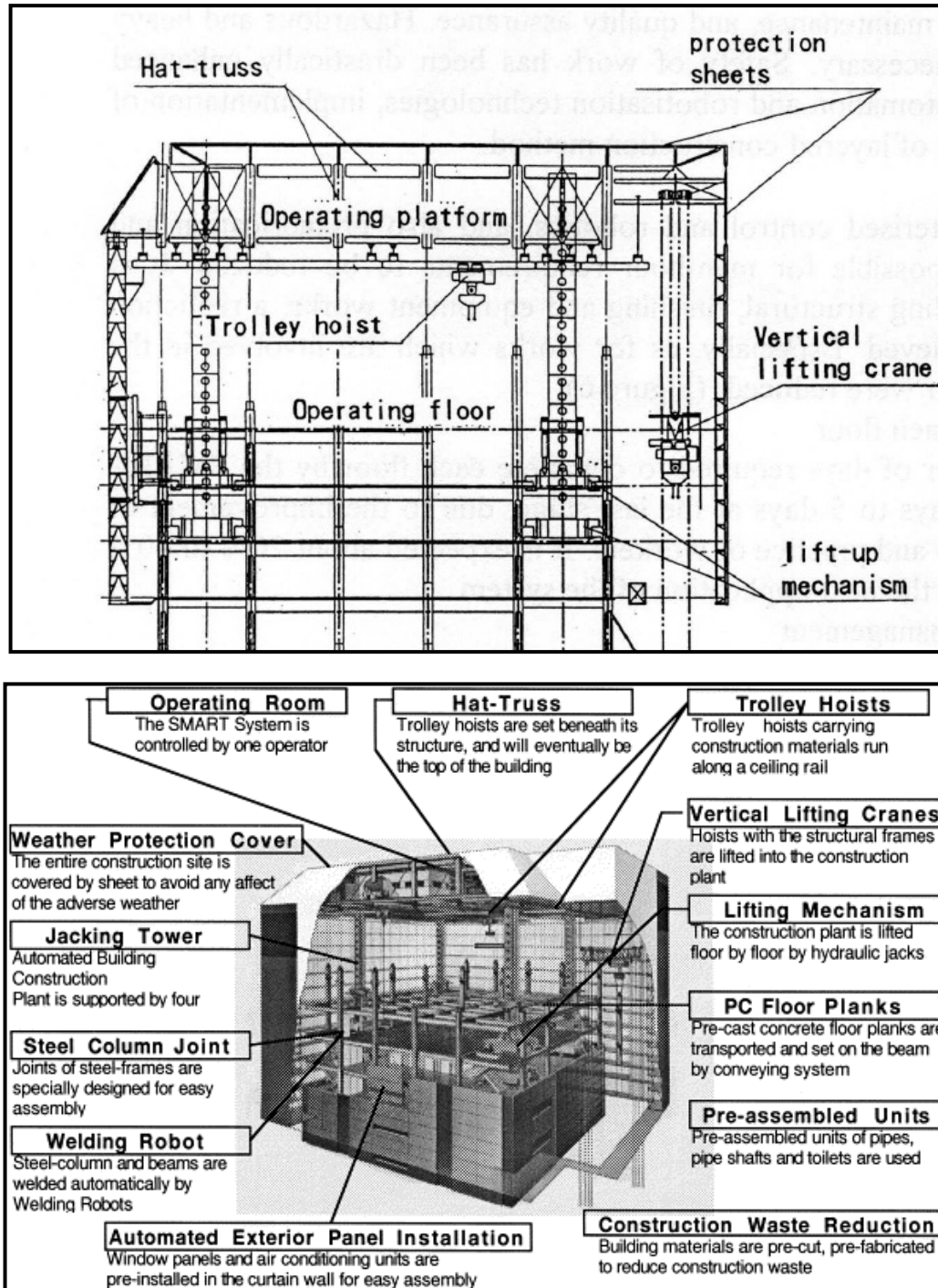


Fig. 53. Constitución del sistema SMART. *Development and application of the Smart System.*

⁵⁵ Consulta web <http://www.shimz-global.com> Consultado Febrero 2014.

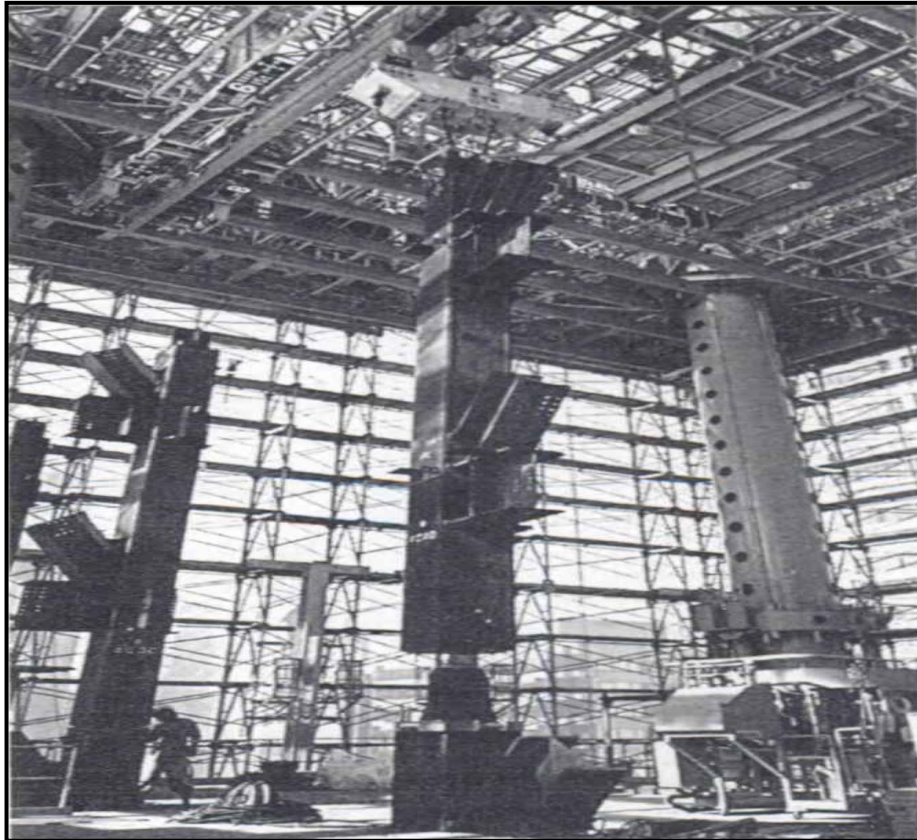


Fig.54. Imagen interior de la plataforma SMART. *Development and application of the Smart System*



Fig.55. New Smart System.Consulta web <http://www.shimz-global.com>

▪ ABCS

En 1993 se emplea ABCS⁵⁶ (*Automatic Building Construction System*) por primera vez para construir un edificio de diez alturas, en el que se ejecutó de forma automatizada la estructura de acero, así como los suelos y paneles de fachada [Fig.56].

Los principales componentes del sistema ABCS son la estructura que encierra el espacio de trabajo, un sistema de almacenamiento automatizado y por último, un sistema de suministro de materiales automatizado.

La estructura que encierra el espacio de trabajo, también conocida como SCF (Súper construcción de fábrica) es un marco integrado soportado por columnas levantadas en la parte superior de la estructura del propio edificio. El sistema de elevación está diseñado para elevar el entorno SCF una planta con la mitad de los gatos y alternar el otro conjunto de gatos con el siguiente nivel. Este sistema permite que las columnas de dos plantas se instalen de forma alterna. Dentro del sistema principal se encuentra un sistema de administración paralelo que consta de carretillas, ascensores y puentes grúa, equipos que realizan el transporte de materiales [Fig. 57-58].

Un equipo láser monitoriza continuamente la verticalidad de la SFC y registra los datos en tiempo real en una sala de control. Del mismo modo, la humedad, la temperatura, la dirección y velocidad del viento se controlan y registran de forma simultánea. Dos sistemas de control vigilan de forma continua la eficiencia del flujo de trabajo y uso del equipo, el sistema de control de flujo de trabajo (WFCS) monitorea el suministro y entrega materiales, mostrando una grafica del trabajo en curso; el sistema de control del equipo monitorea el uso en tiempo real de los equipos y materiales para generar informes de datos [Fig.59-60].

Con la aplicación de ABCS se acorta el tiempo de construcción, se reduce el trabajo manual y se mejora la productividad a la vez que aumenta la seguridad del ambiente de trabajo, sin embargo mientras se construye el techo las actividades de construcción realizadas debajo necesitan ser suspendidas, por lo tanto es necesario acortar al máximo los tiempos de ejecución de los techos para que la productividad no se vea afectada.



Fig.56. Perspectiva de un edificio ejecutado mediante el sistema ABCS. *Application of the automatic building construction system.*

⁵⁶ Hiroshi Miyakawa, Jyuinichi Ochiai, Katsuyuki Oohata and Takashi Shiokawa. *Application on automated building construction system for high-rise office building.* Japan 1999.



Fig. 57. Imagen exterior del SCF. *Application of the automatic building construction system for high-rise office building.*



Fig.58. Imagen en el interior del SCF. *Application of the automatic building construction system high-rise office building.*



Fig.59. Sala de control del sistema. *Construction Robots-The Search for new building.*

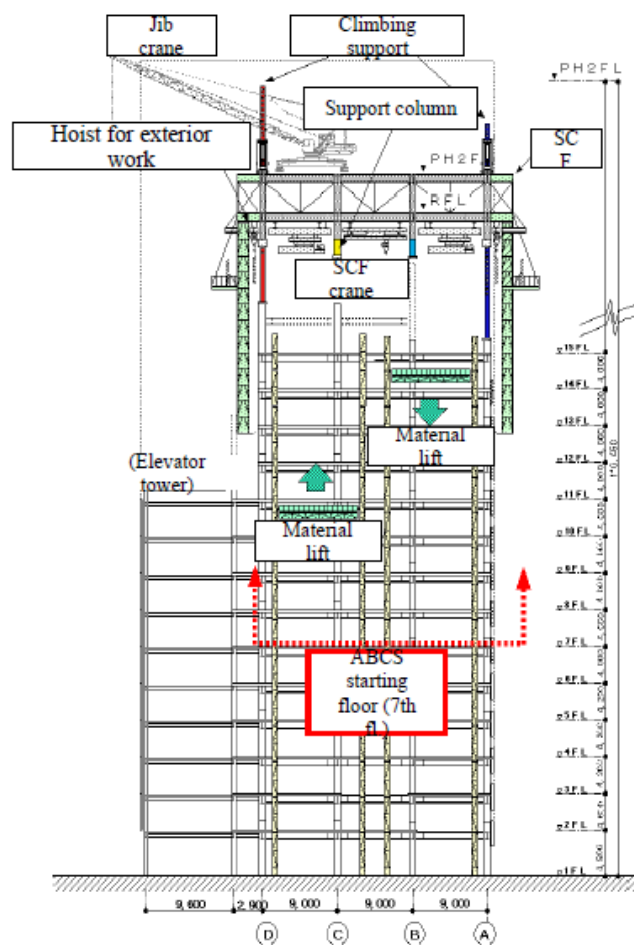


Fig.60. Sección del esquema de trabajo de un edificio. *Application of the automatic building construction system high-rise office building.*

▪ BIG CANOPY

En 1995, *Obayashi Corporation* presenta el primer sistema de construcción automatizada del mundo aplicado a estructuras de hormigón prefabricado de edificios de gran altura: Big Canopy⁵⁷.

El sistema está diseñado para estabilizar el proceso de construcción, el ambiente de trabajo, así como aumentar la productividad y acortar el período de construcción para reducir el costo total de la construcción.

De los sistemas desarrollados es el menos automatizado, ya que la plataforma se apoya sobre cuatro mástiles independientes del edificio, lo que ofrece mayor flexibilidad al sistema. Una vez que el edificio alcanza su altura total, el dosel se desmantela y la estructura perimetral es deslizada a la parte inferior del mismo [Fig.61-62].

Los puentes grúa son operados por los trabajadores en la fábrica, con un sencillo control pueden dirigir el movimiento de un objeto al tiempo que escucha las indicaciones de colocación de otros trabajadores. Al tratarse de un método tan sencillo reduce el aprendizaje requerido por otros sistemas más automatizados.

Fue el primer sistema en mejorar la productividad, colocando hasta diez columnas por hora, y ciento trece paneles por planta en ocho horas. Después de aplicar varias veces el sistema en diferentes edificios los resultados mostraron que el número de agentes empleados en el montaje fue el 65% de los trabajadores utilizados en la construcción normal.

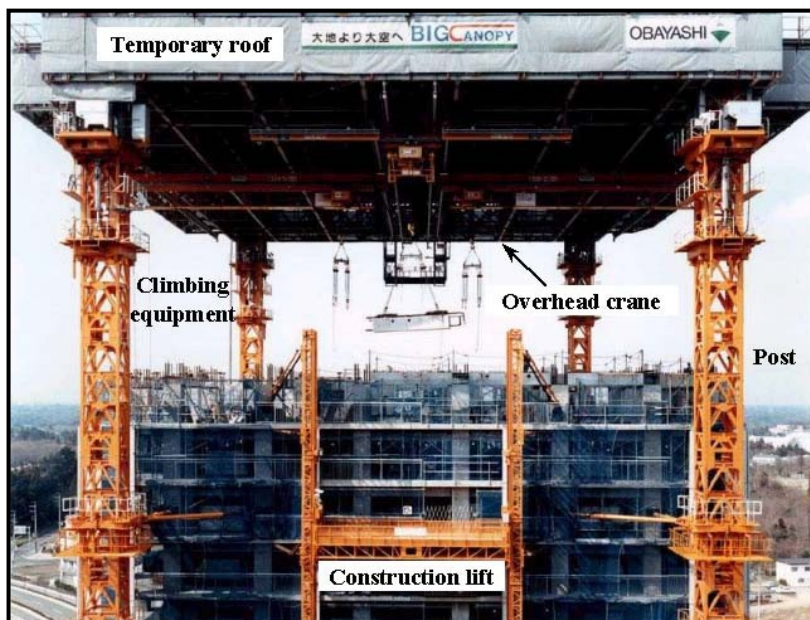


Fig.61. Esquema de trabajo Big Canopy. *Present Circunstances of an automated construction system for high-rise reinforced concrete buildings.*

⁵⁷ Niriuyuki Fuyura, Takashi Shiokawa, Koji Hamada. *Present circumstances of an automated construction system for high-rise reinforced concrete buildings.* Isarc 2000.

Morales, Guillermo. *Robots and construction automation.* Automation and Robotics in Construction XI. Florida 1999.

El principal inconveniente que presenta BIG CANOPY son las limitaciones del sistema de suministro y de logística, ya que el transporte de elementos prefabricados en la parte superior no es muy ágil. Por otro lado, es sistema es muy versátil y puede crecer tan alto como la estructura del edificio diseñado.



Fig.62. Esquema de trabajo Big Canopy. *Present Circunstances of an automated construction system for high-rise reinforced concrete buildings.*

▪ AMURAD

Kajima⁵⁸ desarrolla Amurad⁵⁹ (*Automatic Up-Rising construction by Advanced technique*) en 1993, un sistema de construcción automatizado, en el que al contrario que en el descrito anteriormente, la fábrica se encuentra en la parte inferior del edificio.

La última planta es la primera en construirse para luego empujarla a un nivel superior, dejando espacio para la construcción de la segunda planta. Mientras tanto la instalación de cañerías, obras de acondicionamiento interior y revestimientos de fachada son ejecutados en la última planta del edificio (la primera en construirse). El proceso se repite tantas veces como sea necesario hasta que se complete el edificio [Fig.63 a y b].

El sistema emplea tres subsistemas mecánicos: un sistema para empujar hacia arriba el conjunto del edificio, un sistema de transporte y montaje de elementos prefabricados y un último sistema para el transporte del material al segundo nivel de la fábrica donde se están ejecutando los trabajos de acabados e instalaciones.

El principal inconveniente de este sistema radica en la altura del edificio, ya que ésta se limita a la máxima capacidad de levantamiento de peso de los gatos hidráulicos que realizan la elevación. Por otro lado, la logística y entrega de materiales son fácilmente manejables ya que la fábrica se encuentra inmóvil en la base del edificio.

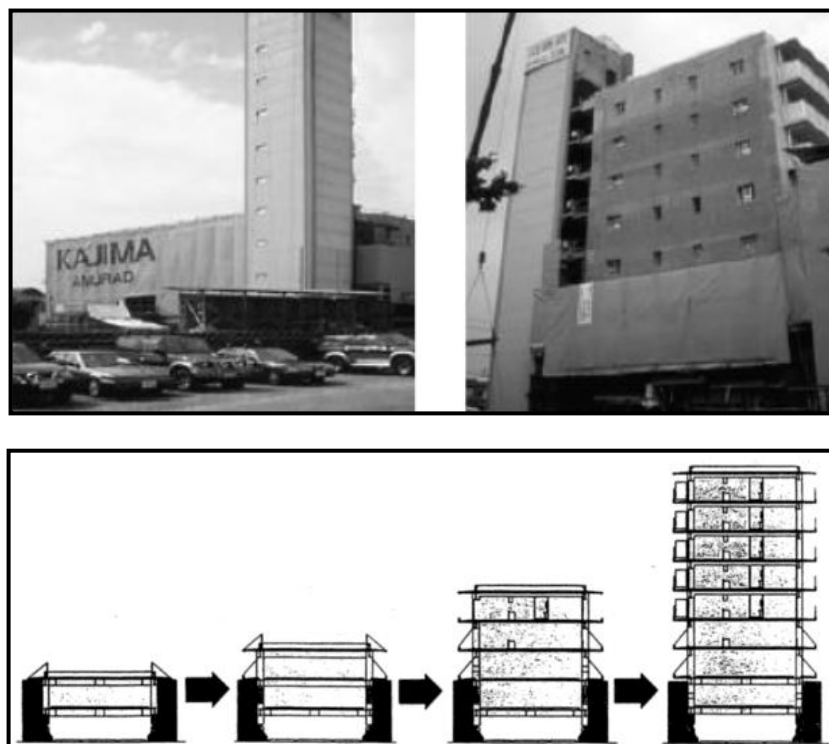


Fig. 63 a) y 63 b) Evolución de la construcción en el sistema AMURAD. *Advanced Construction and Building Technology for society*.

⁵⁸ Kajima Corporation: compañía Japonesa fundada en 1840, es una de los cinco gigantes japoneses de la construcción. [http:// www.kajima.co.jp](http://www.kajima.co.jp) (consultado Mayo 2014)

⁵⁹ Grisales Pachon, Alejandro. *Construction site automation: guidelines for analyzing its feasibility, benefits and drawbacks*. International Council (CIB). Germany Octubre 2012.

▪ T-UP

T-UP⁶⁰ (*Totally Mechanized Construction System*) fue desarrollado conjuntamente por Taisei Corporation y Mitsubishi Heavy Industries, y combina un sistema de autoconstrucción y un sistema de gestión de proyectos.

En el sistema T-UP, la torre central del edificio está diseñada para ser resistente a los terremotos y para apoyar el sistema de elevación y el entorno de trabajo llamado “armadura sombrero”. Las grúas plumas se sitúan por encima de la plataforma para la elevación del núcleo mientras los puentes grúa y manipuladores entregan los materiales para la construcción. El sistema también coordina la entrega de materiales del proveedor (en la planta principal) al lugar de trabajo (planta secundaria) [Fig.64].

Como los demás sistemas automatizados presentados, el T-UP reduce los tiempos de trabajo , a la vez que proporciona un entorno de trabajo más limpio y seguro. Sin embargo se pretende mejorar la tecnología de sensores para que el sistema trabaje toda la noche en la distribución de materiales para que la mano de obra y los robots se encarguen del ensamblado.



Fig.64. Edificio en ejecución mediante sistema T-UP . *Construction Robots- The Search for new building.*

⁶⁰ S, Sakamoto and H.Mitsuoka. *Totally mechaniez construction system for high-rise building (T-UP)*. Automation and Robotics in Construction XI. Japan 1994.

Conjuntamente con estos sistemas se han desarrollado otros que se han sido empleados en menor medida como el MCCS⁶¹ y el AKATSUKI 21⁶², que únicamente se van a mencionar de modo esquemático.



Fig. 65. Imagen del Sekai Bunk Sha construido por MCCS.

MCCS (*Mast Climbing Construction System*) diseñado para su implantación en edificios de menor altura con vanos cortos. MCCS dispone de cuatro funciones automatizadas : sistema de elevación, sistema de transporte, sistema de medición y por último, sistema de control.

El sistema de elevación se apoya en columnas exteriores dejando mayores luces para una construcción más fácil, a la vez que un ordenador controla simultáneamente el movimiento de todas las tomas para elevar el conjunto de la fábrica a la vez. El sistema de transporte se compone de puentes grúa y ascensores que también son controlados por un ordenador central.

MCCS fue concebido para mejorar el ambiente de trabajo, reducir el tiempo de construcción y mejorar la productividad a la vez que se garantiza una alta calidad [Fig. 65].

⁶¹ Coniseau, Leslie. *Construction robots: the search for new building technology in Japan*. US.1998.

⁶² Hideo Tanijiri y otros. *Development of automated weather-unaffected building construction system*. Fujita Corporation. Japan 1995.

AKATSUKI-21 (*Automated weather-unaffected building construction system*) desarrollado específicamente por Fujita Corporation para la construcción y deconstrucción de edificios en 1995. AKATSUKI dispone de dos plantas de fabricación, una de ellas en la planta baja y la otra en la planta en ejecución. La fábrica en tierra, tiene su propio sistema de administración de materiales, mientras que la planta en ejecución recibe los pilares y vigas en su posición predeterminada. Ambas fábricas están conectadas por un sistema de transporte vertical [Fig.66].

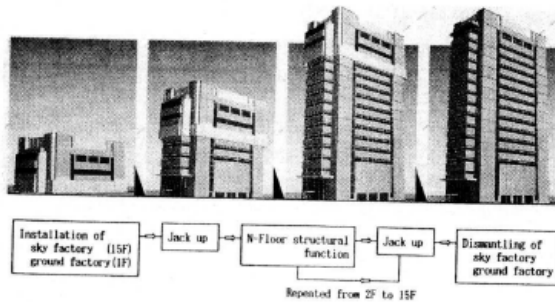


Fig.2. Basic construction procedure

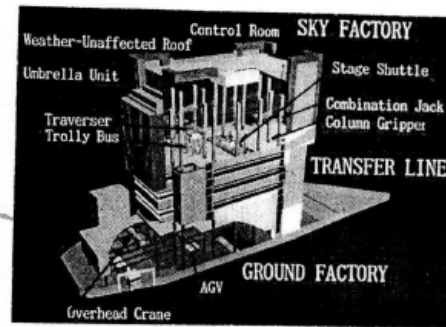


Fig.3. Basic composition



Photo 1. External appearance

Fig.66. Sistema AKATSUKI-21. *Development of automated weather-unaffected building construction system.*

5.2. REFERENCIAS ACTUALES

Al igual que en caso de los robots de servicio, los sistemas presentados suponen la primera generación de sistemas automatizados sacados al mercado, aunque la mayoría de ellos continua en funcionamiento a día de hoy a pleno rendimiento, tras sufrir modificaciones en su diseño, como es el caso de NEW SMART SYSTEM. Por esto, a continuación se pretende dar a conocer algunos de los ejemplos que muestren sistemas automatizados aplicados a edificación que podemos encontrar en el mercado y otros, como el caso de THERMES, que todavía se encuentran en fase de investigación, pero que sin duda supondrán una revolución en este ámbito.

▪ IMPRESIÓN 3D

Considerada como una nueva revolución industrial, esta nueva tecnología permite la producción de objetos de complejos diseños con diversos materiales, como el plástico y metal, pero ¿es posible aplicar la tecnología de impresión 3d a los procesos constructivos?

Hace más de cincuenta años que Thomas Alba Edison, nos sorprendió una vez más, convirtiéndose en un pionero en el campo de prefabricación de viviendas, una técnica que relativamente consideramos novedosa, data de 1917 cuando Edison patenta un sistema de construcción de viviendas de hormigón. El objeto de su invención⁶³ es la construcción de un edificio mediante hormigón en una única operación de moldeo. Todas sus partes, incluidos, forjados, particiones y cerramientos, estarán formadas por una masa integral de una mezcla de cemento. Esta invención es aplicable a edificios de cualquier tipo, se ejecutaba el molde de la vivienda para la recepción de la mezcla, en el que además se disponían las secciones de hierro fundido conectado preferiblemente mediante tornillos o espigas. Una vez la mezcla de cemento se ha endurecido, se retirarán los moldes que se emplearán en un número indeterminado de viviendas [Fig.67a y b].

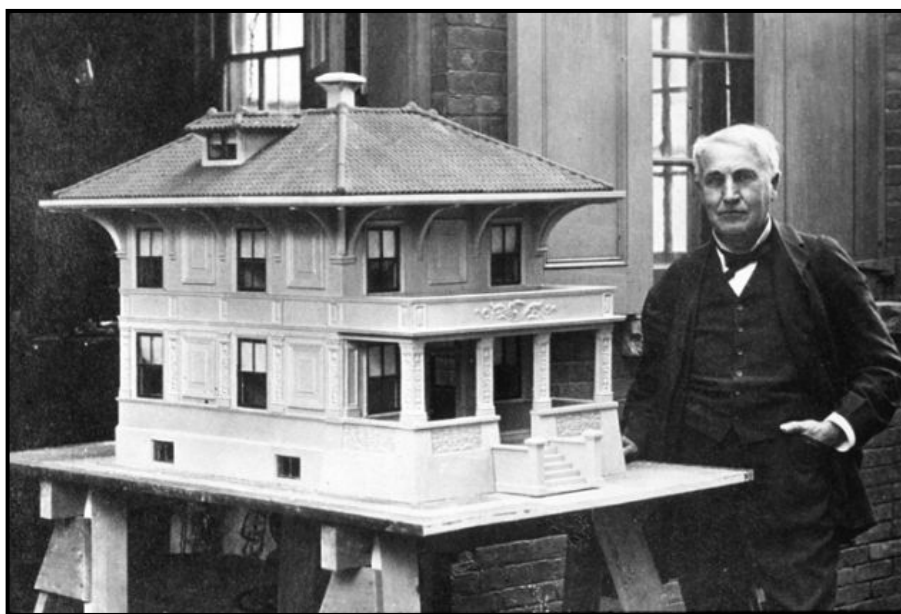


Fig.67a. Modelo de vivienda estandarizado para la construcción prefabricada. Thomas Edison.

⁶³ Patente US1219272- Proceso de construcción de edificios de hormigón.

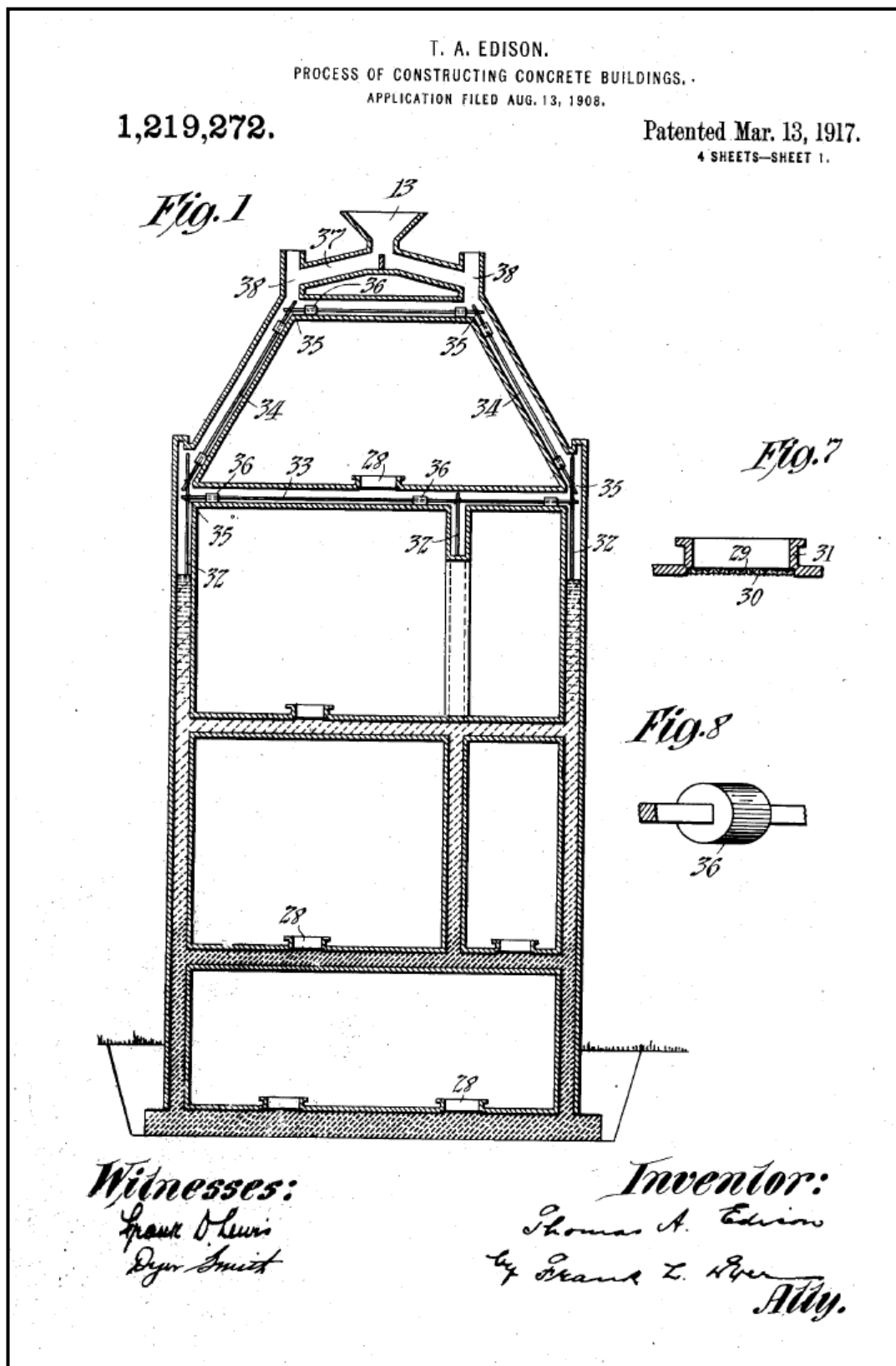


Fig.67b. Proceso de construcción de edificios de hormigón. Thomas Edison.

Después de Thomas Edison varios investigadores siguen el camino de la investigación en prefabricación y nuevos prototipos van apareciendo en el mercado. Técnicas como el Contour Crafting, el D- Shape o el proyecto Freeform Construction acaparan la atención de la industria de la construcción.

❖ **Contour Crafting⁶⁴ (CC)** es un sistema de fabricación por capas desarrollado por el Dr.Behrokh Khoshnevis de la Universidad del Sur de California en 2006. La tecnología Contour Crafting tiene un gran potencial para la automatización de la construcción de estructuras enteras, así como de subcomponentes de las mismas.

CC es un proceso de fabricación híbrido que combina un proceso de extrusión para la formación de superficies y un proceso de llenado para construir el núcleo del objeto mediante la adicción de capas de hormigón, a modo de impresora 3D. Se emplea una boquilla de extrusión para crear los elementos estructurales, que puede ser modificada para crear superficies no ortogonales tales como cúpulas y bóvedas.

Los aspectos más interesantes que ofrece este nuevo sistema da automatización son:

- Flexibilidad en el diseño: el proceso permite a los arquitectos crear estructuras con exóticas geometrías difíciles de realizar mediante la construcción manual.
- Variedad de materiales: se han empleado diversos materiales tanto de relleno como de acabado exterior, ya que la cantidad de cada material a emplear puede ser regulada antes de la deposición, haciendo posible la construcción de estructuras que pueden contener cantidades variables de diferentes compuestos confiriéndoles cierto carácter de excepcionalidad.
- Conductos de servicio: durante la ejecución de la vivienda se pueden dejar previstos los conductos necesarios para ejecución de las diferentes instalaciones de la misma, según los datos cargados en archivos de CAD [Fig.68].

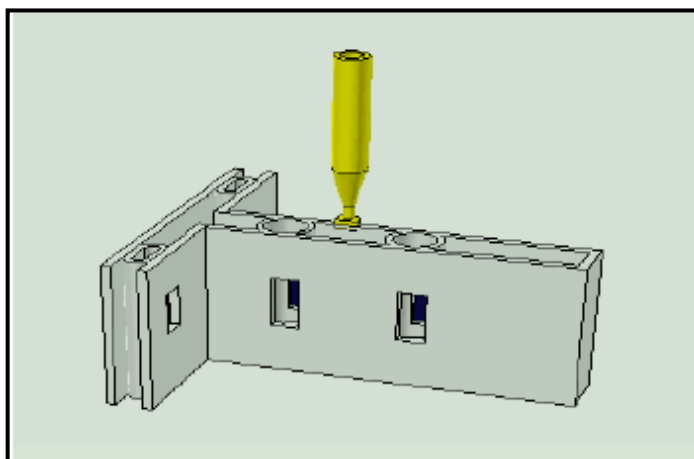


Fig. 68. Previsión de conductos. *Automated Construction by Contour Crafting*

⁶⁴ Behrokh Khoshnevis. *Automated Construction by Contour Crafting-related robotics and information technologies*. Published in Journal of Automation in Construction. California. January 2004.

University of Southern California. Consulta web <http://www.countourcraftint.com> (Consultado marzo 2014)

- *Paint – ready*: la calidad del acabado superficial que proporciona el CC es controlado por la llana de superficie, independientemente de la elección de materiales, la calidad de la superficie es tal que no será necesaria la preparación de la superficie para la aplicación del acabado de pintura. De hecho, se podría instalar un sistema de pintado automatizado al CC.
- Materiales inteligentes: dado que la deposición de CC es controlada por programas informáticos, las cantidades de materiales son seleccionadas de forma precisa lo que permite que se reduzcan al mínimo los excedentes y por tanto las pérdidas.
- Refuerzo automatizado: se introduce de forma automatizada el refuerzo de malla de acero. Los tres componentes que forman la malla se pueden suministrar mediante un sistema de alimentación automatizado que ensamble los bordes de capa de muro conformado por el CC. Una vez formada la malla de refuerzo, el hormigón es vertido sobre cada capa [Fig.69] .

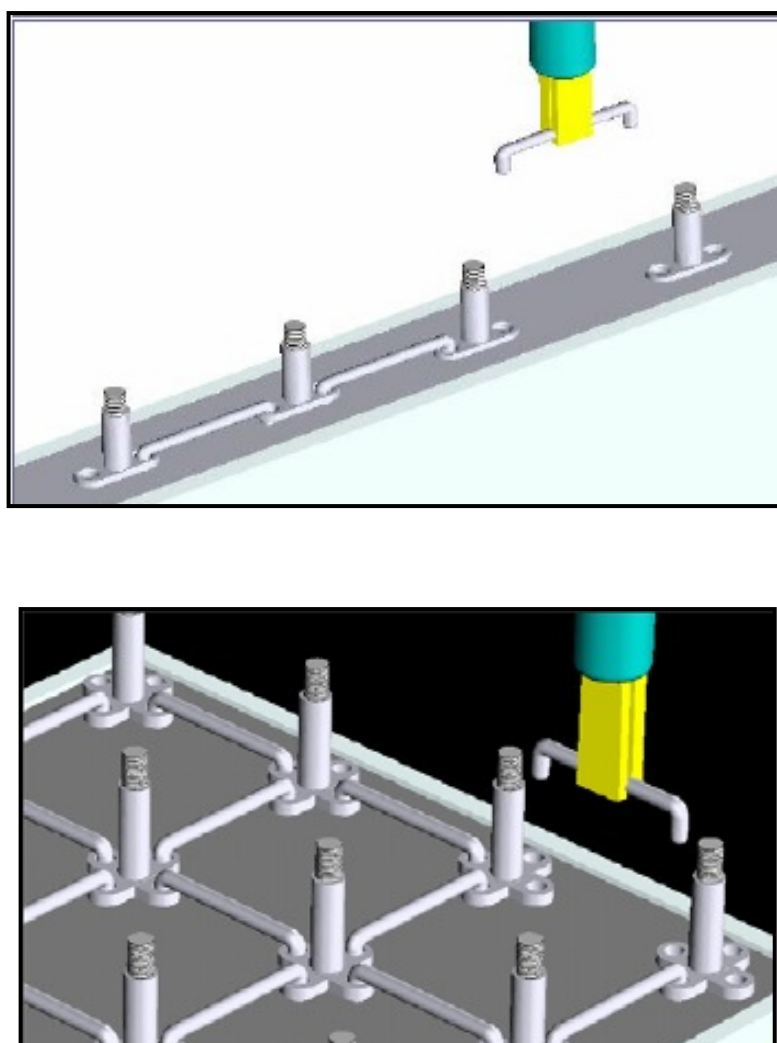


Fig. 69. Montaje malla refuerzo. *Automated Construction by Contour Crafting*.

Una alternativa al refuerzo metálico convencional es la introducción de materiales más avanzados, como pueden ser fibras de plástico reformado.

- Colocación automatizada de pavimentos y alicatados: el automatizado del alicatado de suelos y paredes puede estar integrado, realizando su ejecución mediante brazos robóticos, que pueden ser instalados sobre la misma estructura de CC [Fig.70] .

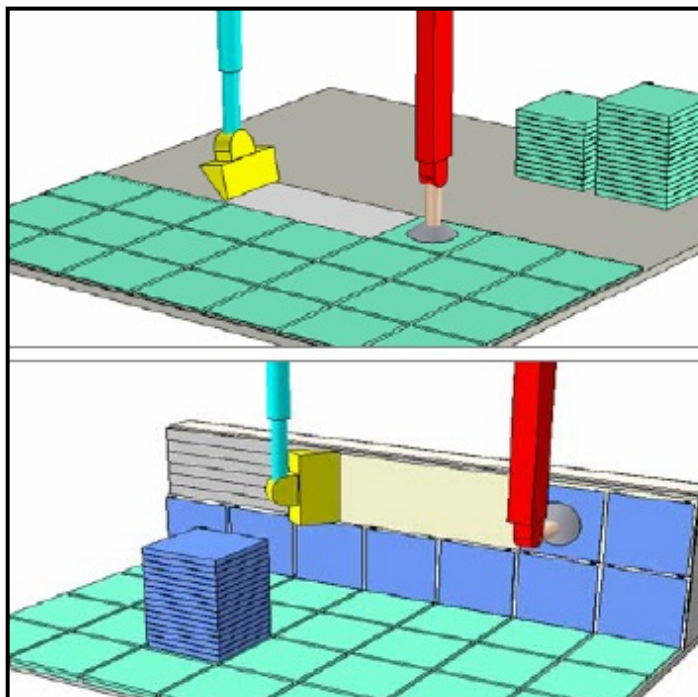


Fig. 70. Alicatado automatizado. *Automated Construction by Contour Crafting*.

- Automatización de las instalaciones: debido a su capa a capa CC, hace que el automatizado de cañerías y redes eléctricas sea posible, gracias la previsión de las mismas, mediante los oficios definidos en el CAD [Fig.71].

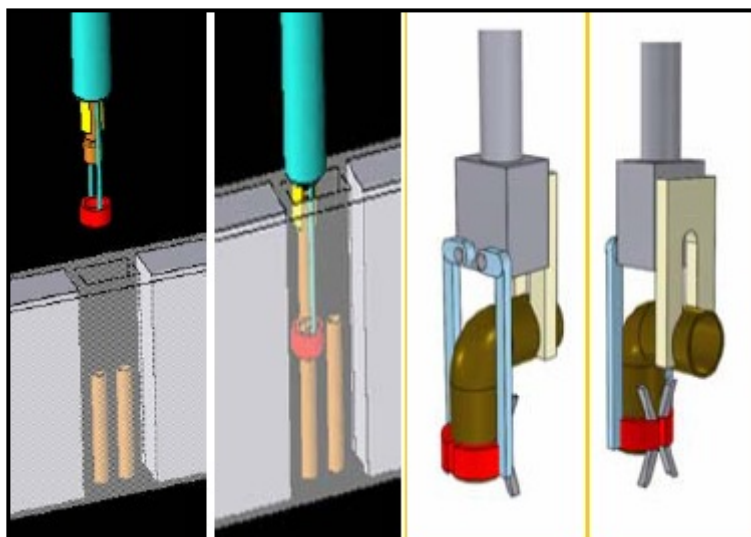


Fig. 71. Automatización de las instalaciones. *Automated Construction by Contour Crafting*.

Miembros del laboratorio de la universidad de California, estudian la evolución de Contour Crafting con tres fases de aplicación:

Fase I: la tecnología básica de CC se aplicará a la construcción automatizada de estructuras de residencias unifamiliares, donde un sistema de pórtico que transporta la boquilla se desplaza por carriles paralelos instalados en el lugar de construcción.

Fase II: CC se aplicará a estructuras multiresidencia, para construcciones de viviendas, de hospitales, escuelas,...donde la plataforma pórtico, equipada con múltiples boquillas, podría extenderse por encima de la anchura de la estructura de la edificación. El sistema de construcción integrada en Fase II, también incluiría métodos automáticos para el alicatado, fontanería o electricidad.

Fase III: adaptación de CC para su aplicación en la construcción de la totalidad de comunidades, incluyendo residencial, público y comercial. Desarrollando el software de gestión de proyectos necesario para la edificación a gran escala.

Debido a su velocidad y su capacidad para utilizar materiales in situ, el CC tiene potencial para su aplicación inmediata en la creación de viviendas de bajo coste, en barrios marginales, o en la construcción de refugios de emergencia.

Behrokh Khoshnevis también contempla la aplicación de CC en la construcción de laboratorios y otras instalaciones en la superficie lunar, ya que “es la única tecnología de fabricación capaz de construir objetos manteniendo la calidad de superficies perfectas empleando el control por ordenador”.

A fecha de elaboración de este informe⁶⁵, los trabajos de investigación continúan y CC todavía no ha sido implantado en el sector de la construcción.

Contour Cfrating no es una impresora 3D, es un robot de construcción que aplicando la técnica de capa sobre capa logra construir una vivienda unifamiliar en unas 20 horas [Fig.72].



⁶⁵ Porada, Barbara. *Contour Crafting Picks Up Speed*. 4 Febrero. Consulta realizada en Marzo 2014.

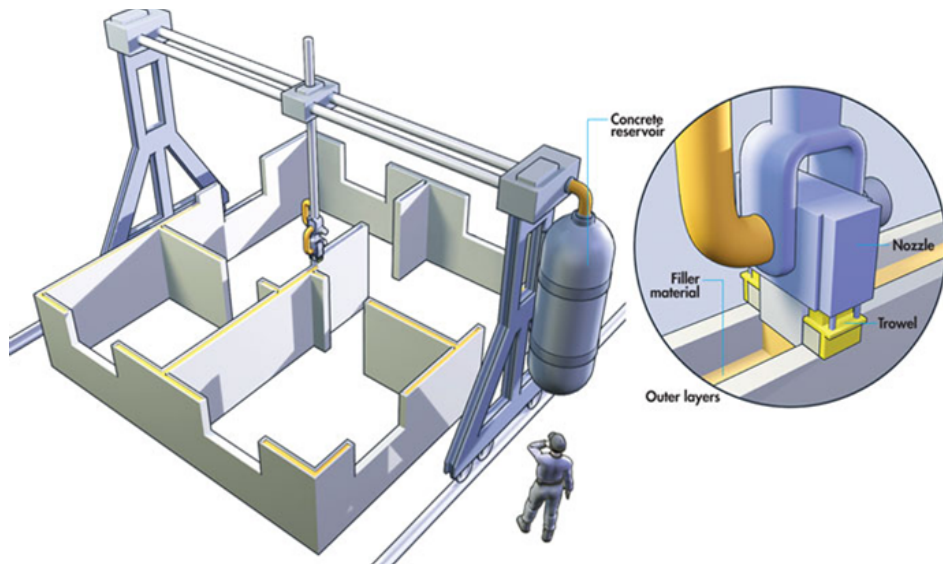


Fig. 72. Contour Crafting. Consulta web <http://www.countourcrafting.com>

Bajo una nueva beca de la *National Science Foundation*, el equipo de investigación está trabajando en el desarrollo de nuevos conjuntos de boquillas especialmente diseñados para la realización de la totalidad de aplicación.

Incluso plantean una nueva alternativa del CC con un nuevo enfoque: el proceso constituido por un robot de pórtico que tiene que ser lo suficientemente grande para construir una casa entera dentro de su envoltorio de operación, requiera de gran cantidad de espacio de maniobra y ejecución, sin embargo el empleo de robótica móvil para la ejecución de los trabajos, tal y como se aprecia en el esquema presentado, facilita el transporte y la instalación. La posibilidad de un entorno de construcción donde múltiples robots trabajan en distintas secciones de la estructura constituye una solución de aplicación de la boquilla CC en ubicaciones de reducidas dimensiones [Fig.73].

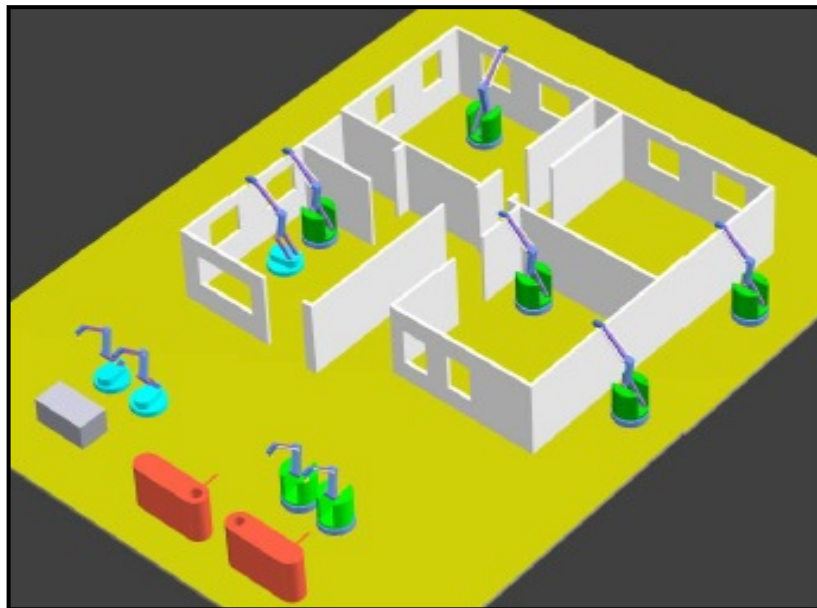


Fig. 73. Nuevo enfoque-robótica móvil. Consulta web <http://www.contourcrafting.com>

❖ **D-Shape**: el ingeniero italiano Enrico Dini, patentó en 2004, *Full Size 3D*, un sistema de impresión por capas mediante el uso de una resina epoxi, sin embargo en 2007, vuelve a patentar un método mejorado de impresión 3D basado en el uso de aglutinantes inorgánicos. Esta nueva máquina, conocida con el nombre de **D-Shape**, permite la creación de edificios completos de piedra arenisca sin la intervención humana empleando un proceso de impresión 3D de estereolitografía que requiere sólo arena y un aglutinante inorgánico.

La estereolitografía, también conocida como estratificación 3D o la impresión 3D, permite la creación de objetos tridimensionales a partir de dibujos de CAD.

Tras cuatro años de investigación y desarrollo, Dini, ha probado recientemente un prototipo de 6,00 x 6,00m. Esta nueva máquina permite crear edificios de arenisca de gran tamaño sin la intervención humana. Desde el exterior D-Shape es una estructura de aluminio, que cuenta con software de CAD-CAM para impulsar la maquinaria que tiene la cabeza de la impresora.

La maquina se compone de una plataforma de 6 x 6 m, que se levanta sobre cuatro columnas de entre 9 y 12 m. Cada una de ellas dispone de un sistema de elevación electro neumático controlado por un codificador con resolución de 0,1 mm. El cabezal de impresión dispone de 300 boquillas que dejar caer una “tinta estructural” [Fig.74].



Fig. 74. Plataforma D-Shape. Consulta <http://www.d-shape.com>

A pesar de su gran tamaño, la estructura se puede transportar fácilmente, permitiendo desmontarse en pocas horas.

Aunque en un principio Dini, planteo el sistema basado en el uso de resinas epoxi, abandonó pronto este sistema debido a los inconvenientes de bajo módulo de elasticidad, su carácter de inflamabilidad o liberación de gases tóxicos. Su búsqueda por encontrar un material “perfecto” que debía ser inorgánico, barato, ecológico y de baja viscosidad, culminó cuando fue capaz de desarrollar un biocomponente ligante inorgánico líquido/sólido en él que la fracción líquida es liberada por una boquilla y la fracción sólida se mezcla a la inerte.

El proceso comienza con el arquitecto, mediante el empleo de la tecnología CAD en 3D. El diseño realizado por el proyectista se descarga en un archivo STL (estereolitografía) y se importa en el ordenador que controla la impresora de la cabeza del D-Shape.

“Radiolaria” es el primer ejemplo de estereolitografía aplicada a la industria de la construcción, diseñado por el arquitecto Andrea Morgante [Fig.75] . El proceso de construcción es similar a lo que la tinta de la impresora hace en una hoja de papel. Este principio permite al arquitecto diseñar estructuras mucho más complejas.



Fig. 75. Radiolaria. Consulta <http://www.d-shape.com>

La impresión comienza desde la parte inferior de la construcción y levanta en secciones de 5-10 mm, durante la impresión de cada sección la impresora de boquillas de arena deposita la mezcla de forma ininterrumpida. El proceso de solidificación tarda 24 horas en completarse.

❖ **Freeform Construction**: tal y como demuestran los dos ejemplos anteriores, desde mediados de los años noventa tanto las universidades como las empresas han comenzado a aplicar la fabricación mediante adicción en la arquitectura. Mencionados el Contour Crafting y el D-Shape únicamente me queda por citar el proyecto **Freeform Construction**.

Freeform Construction fue iniciado por el centro de investigación *Innovative Manufacturing and Construction Research Centre (IMCRC)* de la Universidad de Loughborough es financiado por el *UK Engineering and Physical Sciences Research Council*. En los últimos cuatro años se ha desarrollado una máquina de fabricación mediante aditivos capaz de producir grandes piezas de hormigón (2,00 m x 2,00 m x 2,00 m) [Fig.76].

El proceso es similar al empleado en el modelado de piezas por fusión (FDM), con la única diferencia de que se extruye hormigón en lugar de plástico. El hormigón es bombeado y empujado a través de la boquilla a una velocidad constante, sin necesidad del empleo de encofrados, que recibe la forma prediseñada, lo que permite una libertad sin precedentes en el diseño geométrico. Cada una de las trayectorias de la herramienta se convierte en una extrusión de material.

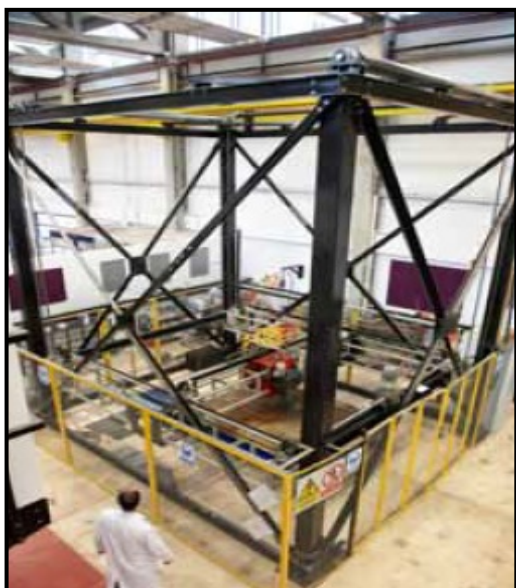


Fig.76. Máquina de fabricación mediante aditivos. *Desing Potencial for Large Scale Additive Fabrication: Freeform.*

❖ Las investigaciones más recientes sobre la impresión 3D se están desarrollando en Ámsterdam, donde se está desarrollando el proyecto *3D PRINT CANAL HOUSE* aplicando la **impresora KAMERMAKER**. Se trata de una impresora que funciona exactamente igual que una impresora 3D de escritorio.

La palabra *Kamermaker* proviene del holandés y traduce como “fabricante de habitación”. La impresora es el resultado del esfuerzo cooperativo entre *DHE Arquitectos*, *Ultimaker* y *fallAB*, entre otros. La máquina se ubica en un pabellón metálico de 6 m x 6 m x 11.5 m de altura donde se imprimen los grandes componentes que forman parte de una vivienda, ya que no está diseñada para la impresión completa de la misma.

Al igual que en resto de los proyectos indicados, se añade el archivo digital al “cerebro” de la impresora, un ordenador muy simple, donde se traduce en un código que dibuja un modelo 3D mediante capas. Para la impresión se emplea material plástico en forma de granulado que entra en la máquina de extrusión a través de un embudo. En la extrusora se calienta el granulado y se presiona junto a un líquido homogéneo. La mezcla se lleva al cabezal de la impresora por un tubo calentado, el cabezal expulsa el material fundido a lo largo de la trayectoria programada en el eje X, Y moviéndose cuando se termina una capa a lo largo del eje Z [Fig.77].



Fig. 77. Impresora KamerMaker. Consulta www.3dprintcanalhouse.com

Aunque en la actualidad se está imprimiendo con bioplásticos, técnicamente puede imprimir con cualquier material que se funde (a una temperatura no muy alta) y que luego se endurezca de nuevo.

Mediante esta técnica de impresión 3D se pretende la construcción de una vivienda en el canal de Ámsterdam, un proyecto único en el que un equipo internacional de socios colabora en la investigación y la práctica de la impresión 3D, un proyecto que recibe el nombre de 3D PRINT CANAL HOUSE. Una casa junto al canal es reconocible y atractiva, un proyecto que muestra al mundo cómo combinar los valores tradicionales de la zona con nuevas ideas innovadoras [Fig.78] .



Fig. 78. Imagen del proyecto 3D PRINT CANAL HOUSE. Consulta www.3dprintcanalhouse.com

▪ RCA SYSTEM

El *RCA System*⁶⁶ se presenta en 2013, como un nuevo sistema de construcción automática de estructuras de acero en edificios de gran altura. Todavía en fase de proyecto, es fruto de un esfuerzo de cooperación entre un grupo de investigación de robots y un grupo de automatización de Corea del Sur.

Los sistemas introducidos en la década de los noventa por varias empresas constructoras conllevaron la mejora de las prestaciones de trabajo y productividad en la construcción, sistema como SMART, ABCS o Big Canopy. Sin embargo, los costes y los pesos de las estructuras son extremadamente altos, debido a que los robots y las enormes grúas se combinan junto con la estructura. RCA es un sistema de construcción automatizada que difiere de los anteriores y que presenta las ventajas de reducción de peso del sistema, reducción de riesgos de los operarios, y por último, pero no menos importante, la disminución del costo de construcción.

El sistema RCA [Fig.79] se compone de cuatro subsistemas: sistema de seguimiento y control, sistema de ensamblaje, sistema de transmisión de materiales y sistema de construcción de fábrica (CF).

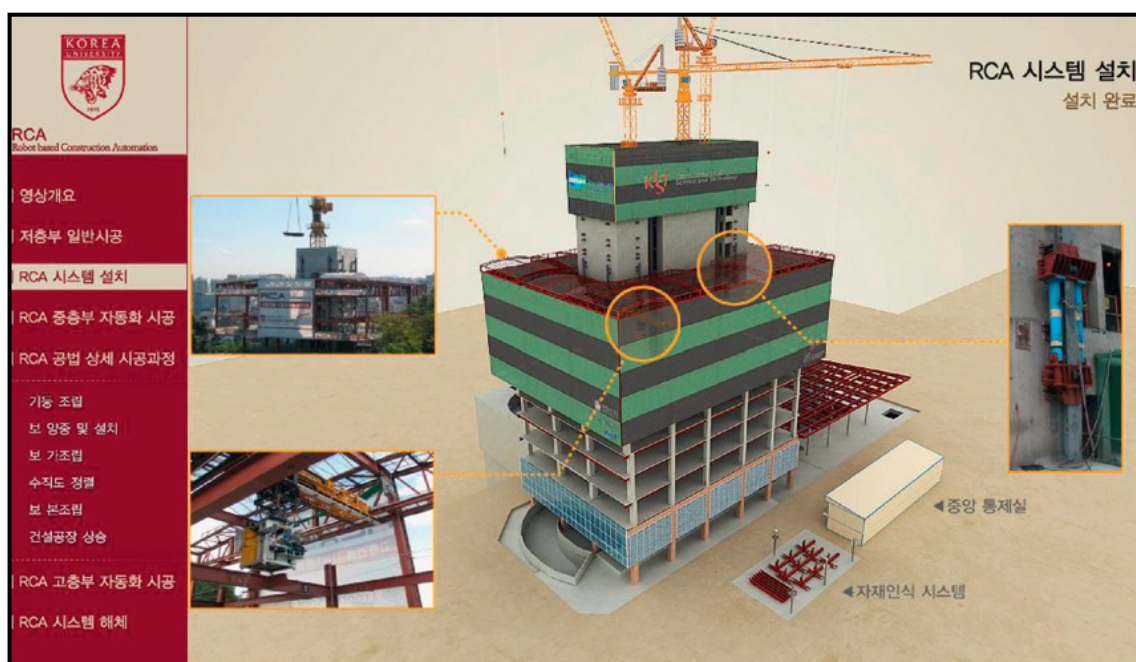


Fig.79. Sistema RCA. *Robot-based construction automation:an application to steel beam assembly.*

El sistema de construcción de fábrica (CF una estructura que rodea un edificio en construcción y que incluye varios sistemas robóticos para automatizar tareas), en este proyecto se fija a una estructura de núcleo central de hormigón de la misma altura que el edificio, previamente construida. Los marcos de las vigas de acero se ensamblan alrededor de la estructura base, se disponen también los raíles verticales alrededor de la estructura núcleo cada uno con su

⁶⁶ Kyungnomo Jung, Baesuk Chu and Daehie Hong. *Robot based construction automation: An application to steel beam assembly (Part I, II)*. Automation in Construction, Volumen 32. 2013.

módulo de elevación. El CF se apoya en estos carriles de la estructura núcleo, tal y como se muestra en la figura que se adjunta [Fig.80].

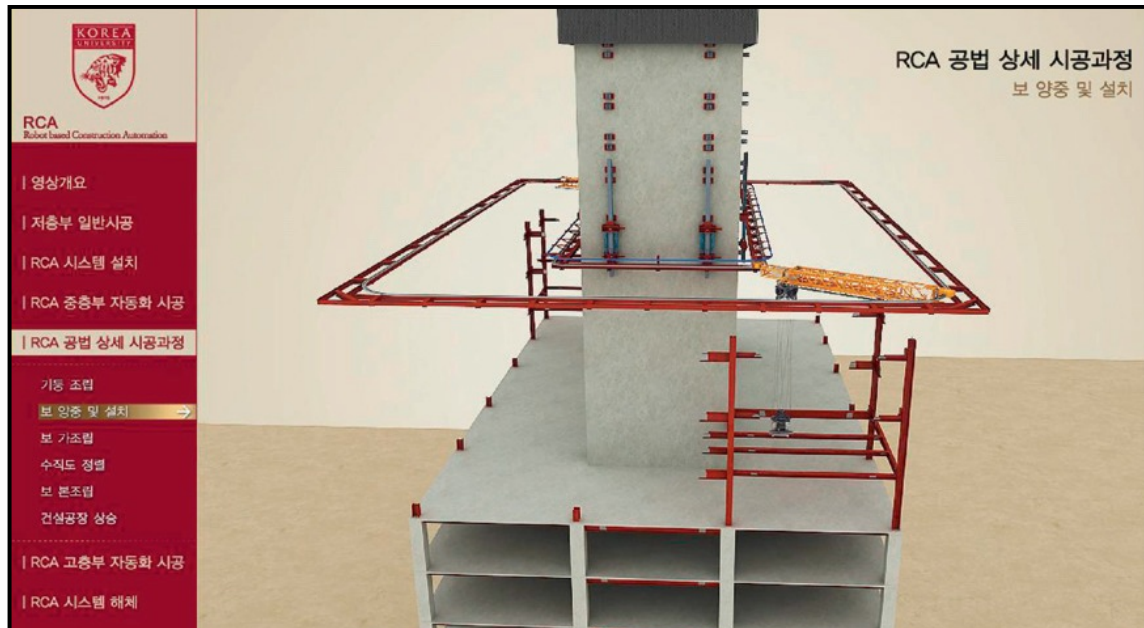


Fig. 80. Sistema CF. *Robot-based construction automation:an application to steel beam assembly.*

Una vez completado el montaje de las vigas correspondientes a varias plantas del edificio, el CF se eleva al siguiente bloque de pisos, desplazándose por los carriles dispuestos en el núcleo de hormigón, con una velocidad de 3km/h [Fig.81].



Fig. 81. Sistema CF antes de la elevación. *Robot-based construction automation:an application to steel beam assembly.*



Fig.81. Sistema CF después de la elevación. *Robot-based construction automation:an application to steel beam assembly.*

Sistema de ensamblaje: el primer componente del sistema de empernado automático, es manipulador robótico que tiene la misión de transportar las herramientas de empernado a las posiciones de montaje. Las herramientas de empernado se instalan en el extremo del manipulador robótico y se mueven con precisión a la posición de empernado de destino [Fig.82].

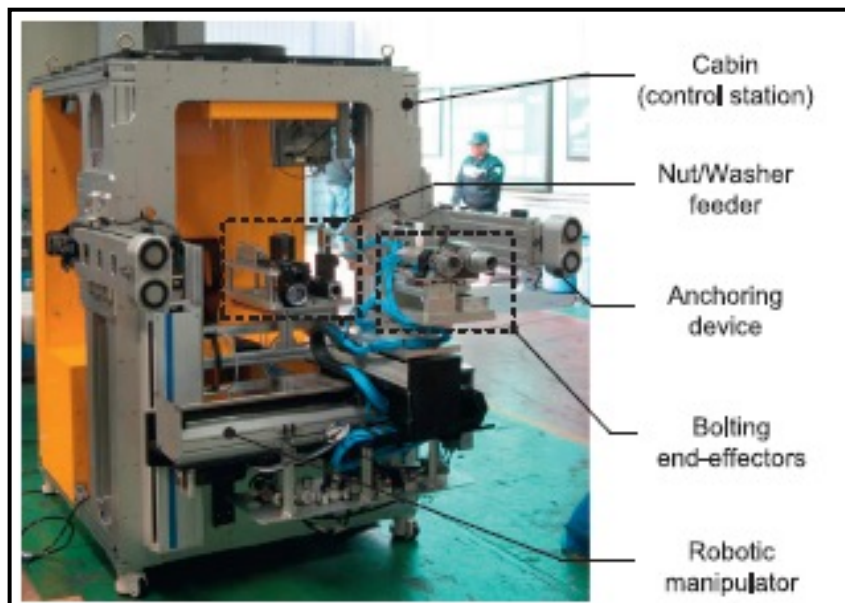


Fig. 82. Sistema de empernado. *Robot-based construction automation:an application to steel beam assembly.*

Las herramientas terminales de atornillado se componen de dos dispositivos; un dispositivo de apriete de perno y un dispositivo de cerrojo. El funcionamiento armonioso de las dos herramientas de atornillado aumenta considerablemente la productividad. Además de estos

dos dispositivos de atornillado también presenta un par de dispositivos auxiliares; un alimentador de tuerca y un alimentador de arandelas.

Sistemas de control del empernado: el proceso básico de montaje de una viga de acero consiste en insertar los tornillos en los agujeros de los pernos y aporte los tornillos por medio de tuercas. Para lo que se ha diseñado un sistema de control basado en la tecnología de empernado de control visual que realiza el seguimiento de objetos de interés utilizando la información obtenida de una cámara de visión CCD y el procesamiento digital de imágenes. Esta técnica de utilizar alimentación visual para la realizar la manipulación robótica es conocida comúnmente como “control visual” [Fig. 83].

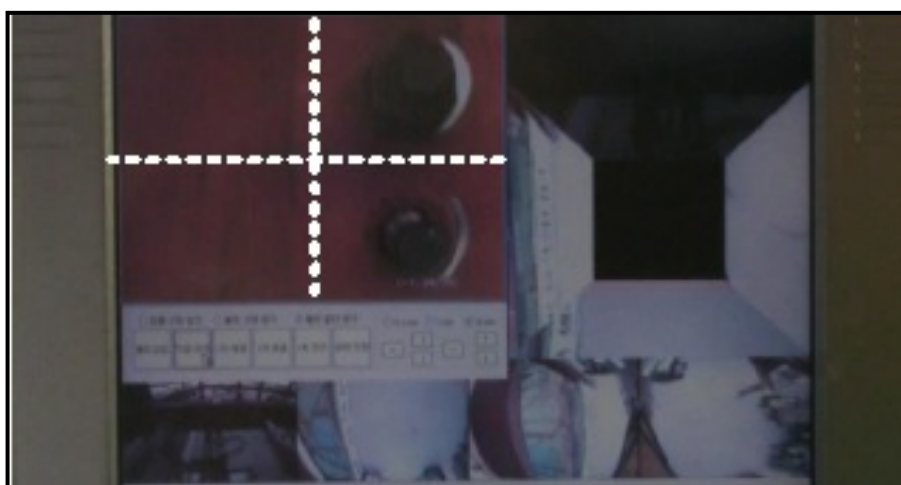


Fig. 83. Sistema de control de empernado. *Robot-based construction automation:an application to steel beam assembly.*

Sistema de control y seguimiento: la cabina que contiene el sistema de empernado también desempeña el papel de estación de control. Contiene monitores ITA (Intelligent Agent), el sistema ITA informa al operador del estado general del sistema de ensamblaje de la viga, y en segundo lugar, informa de la situación actual de los pernos, del próximo proceso y del proceso de montaje en general, proporcionando instrucciones de operación seguras para que el operador pueda manejar el sistema de manera segura y eficiente.

Sistema de transporte robotizado (RBA system): el propósito del mecanismo de transporte robótico es transportar el dispositivo de empernado robótico a las posiciones de atornillado. El mecanismo de transporte robotizado se compone de dos subsistemas: un mecanismo de desplazamiento por carril y un mecanismo de elevación mediante cables. El mecanismo de deslizamiento por carril se desplaza a lo largo del sistema instalada en la estructura de fábrica, la función de los cables de elevación es levantar el dispositivo de empernado [Fig.84].

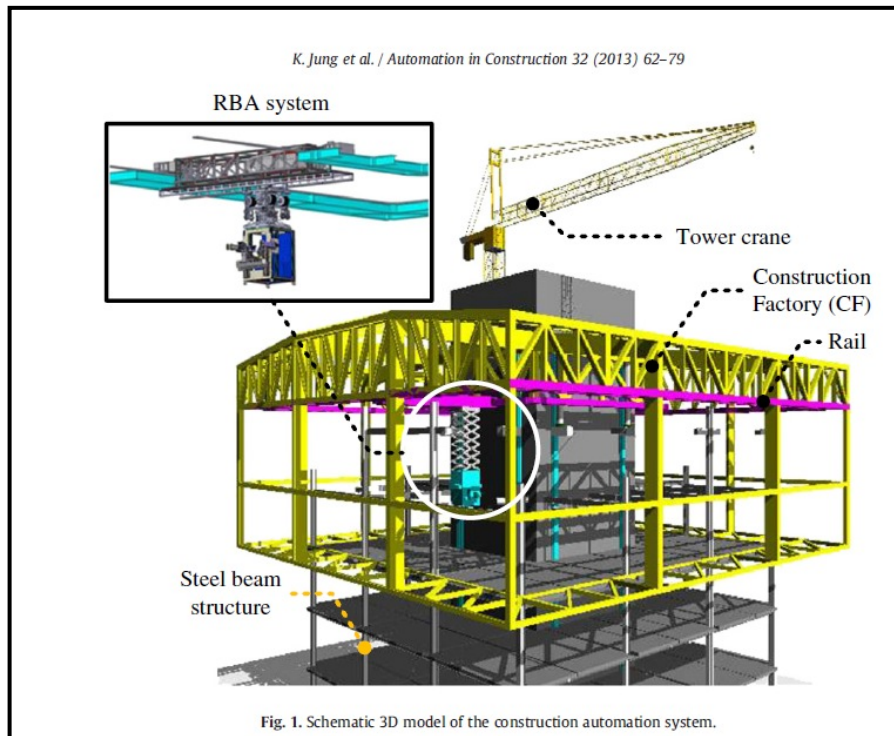


Fig. 84. Sistema de transporte robotizado. *Robot-based construction automation:an application to steel beam assembly (Parte II).*

Aunque el sistema todavía se encuentra en fase de proyecto se ha realizado una aplicación real del mismo en el edificio Robot Convergence Building en Corea, para comprobar la viabilidad del sistema de ensamblaje [Fig.85].

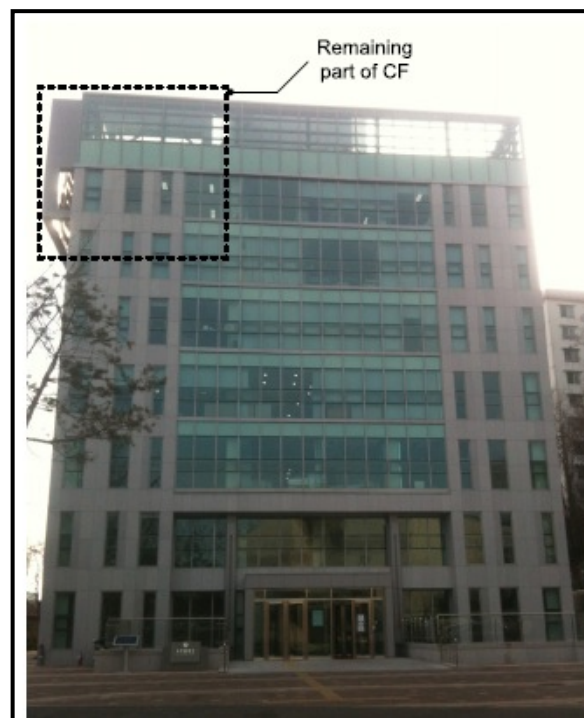


Fig.85. Edificio Robot Convergence Building en Corea. *Robot-based construction automation:an application to steel beam assembly.*

▪ PROYECTO TERMES.

El *Self-organizing Systems Research Group*⁶⁷, un grupo de investigación de la Universidad de Harvard, presenta en diciembre 2013, el Proyecto Termes⁶⁸. Inspirados por las termitas y sus actividades de creación, el objetivo del proyecto es desarrollar un sistema de construcción enjambre en el que los robots cooperen para construir estructuras mucho más grandes que ellos mismos. El sistema actual de hardware consta de robots móviles simples [Fig.86] pero autónomos y pequeños ladrillos, el robot es capaz de manipular las piezas para construir las estructuras. El control multi-robot permite que muchos robots estén activos simultáneamente de manera que cooperan para construir la estructura definida por el usuario.

Los pequeños robots se limitan a la detección local, únicamente son capaces de percibir ladrillos y otros robots en su entorno próximo. Obtienen la información acerca de donde están los ladrillos a través de la inspección directa, ya que esta información se convierte en obsoleta después de salir de área y otro robot modifique la estructura.

Una vez que el usuario decide la estructura, un ordenador busca un conjunto de normas de tráfico para la realización de esa estructura. Los robots seguirán esas normas de tráfico y las reglas de construcción que garantizan la ejecución de la estructura elegida [Fig.87]. De esta forma cada robot repetirá la siguiente rutina para la colocación de cada ladrillo: cargado con un ladrillo, traza un círculo alrededor del perímetro de la estructura hasta llegar a la semilla (o pieza inicial), se mueve a lo largo de cualquier camino establecido, manteniendo en todo momento la posición con respecto a la semilla, y deposita el ladrillo en cualquier punto vacío que cumpla las reglas establecidas. Una misma estructura, puede realizarse de cientos de formas diferentes ya que los robots no siguen un camino establecido.

Aunque, de momento, únicamente es un proyecto, demuestra que los ingenieros de Harvard han sido capaces de diseñar un complejo sistema que funciona como lo hace la naturaleza, trabajando de forma autónoma con reglas simples. Puede suponer un avance en el desarrollo de sistemas automatizados para construcción que funcionen como operarios.

⁶⁷ Justin Werfel, Kirstin Petersen and Radhika Nagpal. *Designing collective behavior in a termite-inspired robot construction team*. Febrero 2014. Consulta web <http://www.sciencemag.org>

⁶⁸ Evan Ackerman. *Termes project concludes, insect robots declare victory*. Publicado en IEEE SPECTRUM. 18 de Febrero de 2014. Consulta web <http://www.spectrum.ieee.org> (Consultado Marzo 2014)

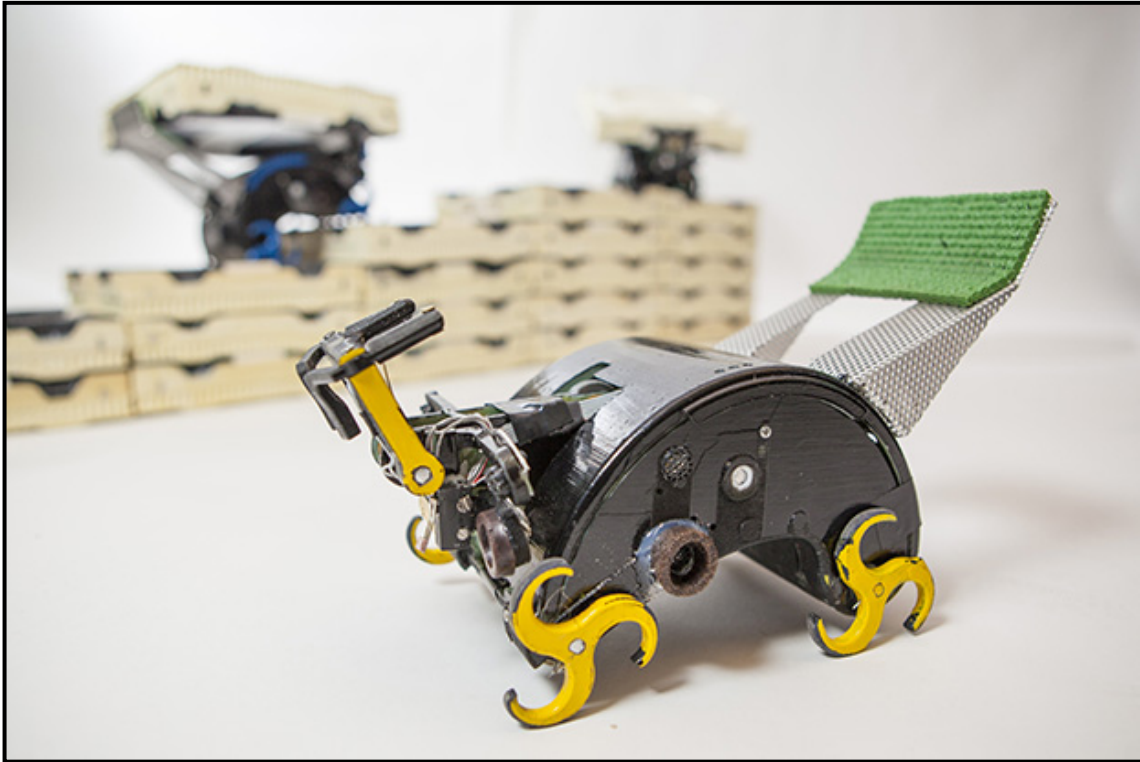


Fig. 86. Mini robot proyecto Termes. *Desing collective behavior in a termite-inspired robot construction team*

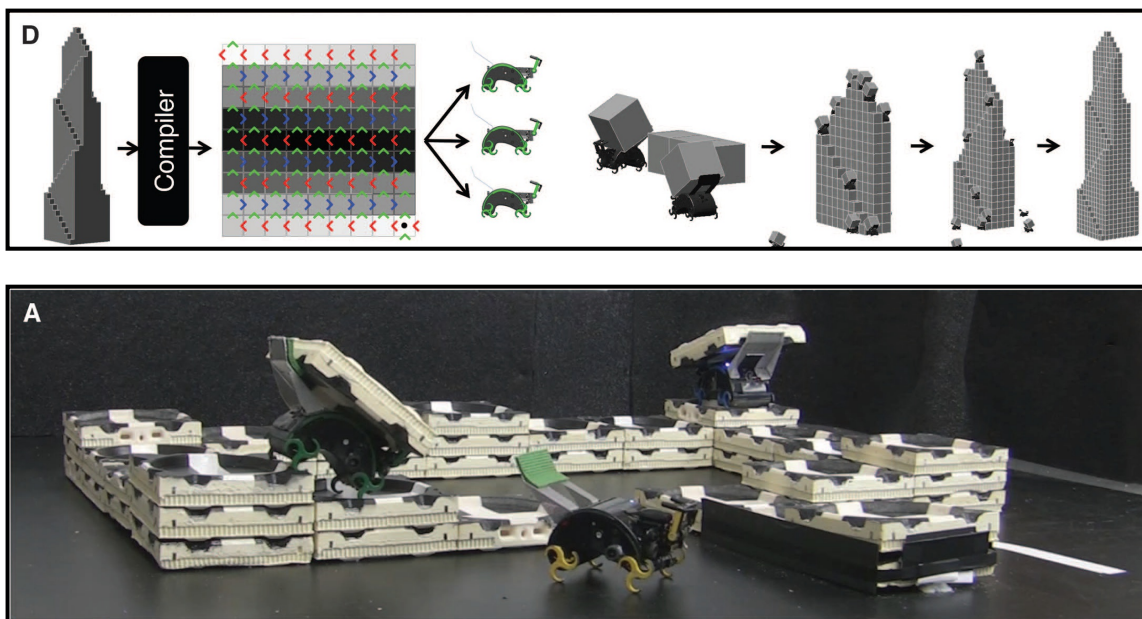


Fig.87. Sistema de ejecución de estructuras. *Desing collective behavior in a termite-inspired robot construction team.*

- **ACR (Construcción Robótica Aérea)**

ARC⁶⁹ ó Construcción Robótica Aérea, desarrollada por los grupos de investigación de Gramazio, Kohler y Raffaello D'Andrea, es una nueva forma de construcción dinámica que no está limitada por los mismos factores que los robots instalados en tierra, su más evidente y radical característica es su capacidad para supervisar y controlar digitalmente un gran número de aspectos del diseño, y su capacidad para posicionar libremente los componentes en el espacio.

La investigación en la construcción con robots voladores, sin embargo, es un tema reciente aún en ciernes etapas. El primer dispositivo experimental para ARC denominado *Flight Assembled Architecture* demostró la habilidad de los cuadrucopteros para levantar de forma autónoma una estructura de seis metros de altura formada por 1500 elementos de espuma [Fig.88].



Fig.88. Imagen de la estructura realizada por ARC. *Aerial Robotic Construction Toward a New Field of Architectural Research.*

⁶⁹ Jan Willmann, Federico Augugliaro, Thomas Cadalbert, Raffabelo D'Andrea, Fabio Gramazio y Matthias Kohler. *Aerial Robotic Construction Toward a New Field of Architectural Research.* Zurich 2013.

Las características que le confieren a este nuevo sistema constructivo, su carácter de excepcionalidad son tres:

1. En primer lugar, los robots aéreos poseen la capacidad de colocar las piezas en la posición requerida sin la ayuda de andamios o grúas.
2. En segundo lugar, las ARC pueden ser construidas de acuerdo a diseños de alta complejidad, los robots operan bajo el diseño arquitectónico digital lo que permite la disposición de los elementos con exquisita exactitud.
3. Y, por último, la capacidad de trabajo de las pequeñas máquinas es fácilmente escalable, ya que varios robots pueden operar en una misma estructura ya sea de forma colectiva o individual.

Hoy en día, estas pequeñas máquinas voladoras ofrecen un excelente compromiso entre capacidad de carga, agilidad y robustez.

Los robots aéreos amplían el espacio de diseño para la fabricación digital en la arquitectura al ofrecer nuevas técnicas de construcción no serían posibles para con las técnicas convencionales.

Estos robots, al igual que los robots industriales, pueden ser equipados con diferentes herramientas para transportar y manipular materiales de diferentes formas, sin embargo, su capacidad de carga influye en su capacidad de maniobra. Lo que requiere que tanto la herramienta como el material de construcción sean de peso ligero y por consiguiente, que el volumen de único elemento de construcción sea bajo en comparación con el volumen total erigido [Fig.89].

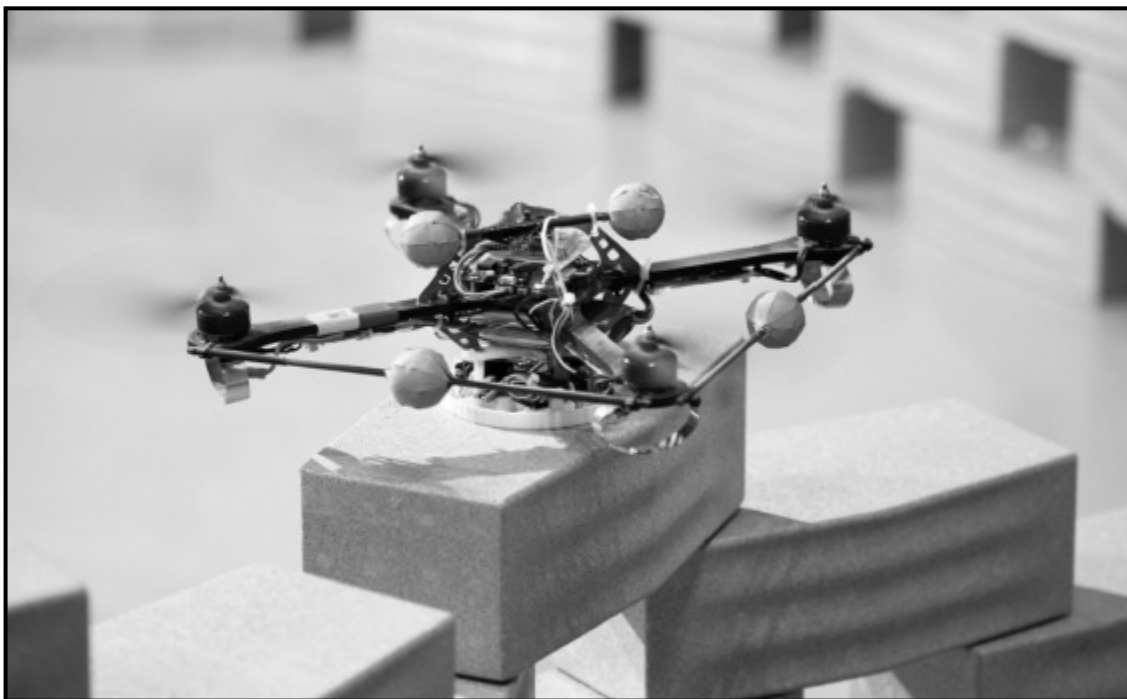


Fig.89. Imagen robots voladores cuadrucopteros. *Building with flying robots.*

La cooperación, es otra de sus principales características, la capacidad de interactuar les permite agregar estructuras que no podrían ser construidas por un individuo. Al contrario que los robots industriales, cuya capacidad de cooperación se ve limitado por su radio de acción, los robots voladores no están limitados de esta forma, ya que el control digital les permite comunicarse y sincronizar sus acciones entre sí, para por ejemplo, levantar cargas particularmente pesadas.

Este sistema de construcción explora la capacidad de las pequeñas máquinas de vuelo para llegar a cualquier punto del espacio, permitiendo:

- Desplazar elementos constructivos a ubicaciones no accesibles para la construcción convencional.
- Realizar maniobras alrededor de los objetos existentes para sujetar los elementos constructivos.
- Volar sobre las estructuras ya construidas para realizar posibles modificaciones.

El resultado son estructuras menos limitadas que las convencionales, que no precisan de andamios o el alcance de grúas.

Fácilmente aplicables a la construcción de un puente o una estructura entre dos rascacielos, estas máquinas tienen la capacidad de llegar a cualquier punto independiente de las dimensiones del terreno.

En la conferencia internacional de Sistemas y Robots Inteligentes celebrada en Noviembre de 2013, se presenta el último avance realizado en este nuevo sistema constructivo: la ejecución de estructuras tensiles mediante “*flying machines*” ó maquinas voladoras (Gramazio y Kohler 2013)⁷⁰ [Fig.90].

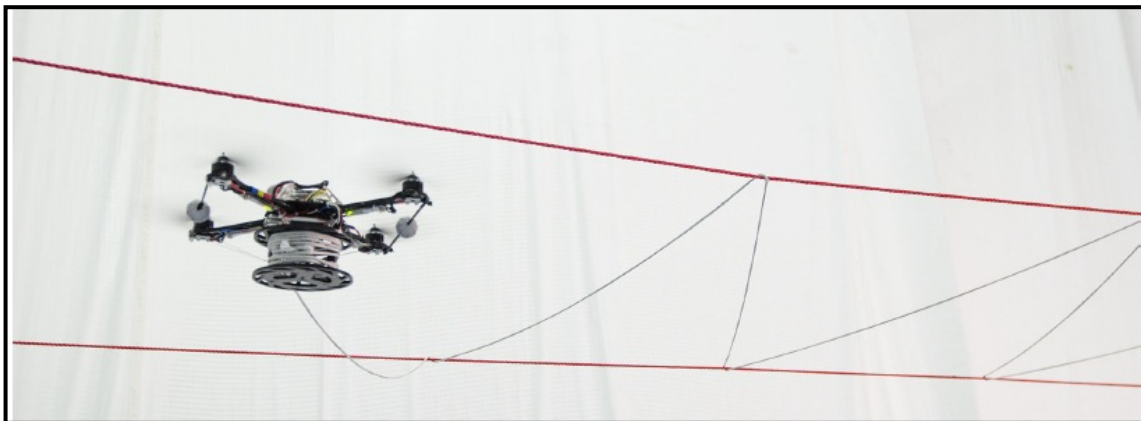


Fig.90. Cuadrucopteros para estructuras tensiles. *Building Tensile Structures with Flying Machines*.

⁷⁰ Gramazio Fabio, Kohler Matthias. *Building Tensile Structures with Flying Machines*. IROS 2013. Consulta web <http://www.dfab.arch.ethz.ch>

▪ AUTOMATIZACIÓN DE TAREAS

Además de sistemas completos automatizados, se puede encontrar con sistemas de automatización parcial, que únicamente realizan de forma automática una de las fases de la construcción.

▪ TIGER STONE. PAVIMENTACIÓN AUTOMÁTICA.

La empresa Vanku BV, con sede en los países bajos, presenta a Tiger Stone⁷¹, una máquina de seis metros de envergadura que emplea la fuerza de la gravedad para bajar naturalmente los adoquines hacia el suelo siguiendo el patrón predefinido, colocando incluso los bordillos perimetrales.

Tiger Stone se desplaza eléctricamente sobre orugas, por lo que no es ruidoso. No tiene un mantenimiento muy costoso porque apenas tiene partes mecánicas, lo que significa que es de fácil manejo y segura con el operario y el medio ambiente, ya que casi no se registra generación de residuos y la ocupación de la vía es prácticamente nula.

La única condición que existe es que el rango máximo de funcionamiento de *Tiger* es de 6 m. La primera hilada debe colocarse de forma manual sobre la parte posterior para definir el patrón de colocación, una vez hecho esto, únicamente se deben disponer los adoquines (u otro material) sobre la plataforma para que *tiger* los distribuya según el patrón [Fig. 91].



Fig. 91. Tiger Stone. Consulta web [http:// www.tiger-stone.com](http://www.tiger-stone.com)

⁷¹ Consulta web [http:// www.tiger-stone.nl](http://www.tiger-stone.nl) .Consultado Marzo 2014.

▪ CONSTRUCCION AUTOMÁTICA DE FACHADAS

En una de las ponencias de II Congreso Nacional de Investigación en Edificación ⁷², el Instituto de Automática Industrial presentó un prototipo funcional de robot válido, por rigidez y precisión tanto para manipular elementos discretos, paneles o vidrios, como para la aplicación de productos continuos de fachadas exteriores de edificios, como pinturas o espuma de poliuretano proyectado ⁷³.

De las muchas aplicaciones que podría tener el autómatas en la construcción, los autores del sistema han seleccionado la aplicación de poliuretano proyectado fundamentalmente por tres razones:

1. Eficiencia energética
2. Fácil industrialización
3. Magníficas propiedades de aislamiento térmico, acústico e impermeabilidad.

El Instituto de Automática propone un robot portaherramientas, dotado con una cámara de 360º y una cámara de barrido láser para digitalizar la geometría de la fachada y generar de esta forma un mapa de coordenadas, ubicado en la punta de una plataforma móvil que le proporciona una elevada capacidad de carga.

Entre las ventajas que reporta la automatización de fachadas se encuentran: la seguridad personal, control y homogeneidad del trabajo, sistematización de operaciones y reducción de costes [Fig. 92-93].



Fig.92. Automatización de fachadas. *Automatización de la construcción. Caso práctico de construcción automática de fachadas.*

⁷² La celebración del congreso responde a la iniciativa promovida por el Proyecto INVISIO persigue automatizar los procesos de construcción mediante la utilización de robots de construcción en obra.

⁷³ Guinea Díaz, Domingo. *Automatización de la construcción. Caso práctico de construcción automática de fachadas.* II Congreso Nacional de Investigación en Edificación. 2010.



Fig.93. Automatización de fachadas. *Automatización de la construcción. Caso práctico de construcción automática de fachadas.*

5.3. DECONSTRUCCIÓN AUTOMATIZADA

Además de sistemas de construcción automatizada algunos gigantes de la construcción se han planteado invertir en la deconstrucción. Un ejemplo de esta aplicación es la novedosa técnica de demolición que presenta la compañía japonesa Kajima: DARUMA, o la última implantación de Taisei: TECOREP SYSTEM.

▪ DARUMA⁷⁴

La demolición convencional de los grandes rascacielos se realiza mediante la colocación de equipos pesados en la planta superior del edificio desde la que son transportados los materiales a nivel de suelo. Kajima, sin embargo, demolió en 2008 [Fig.94] su antigua sede con el primer método del mundo que permite llevar a cabo los trabajos de demolición desde la planta baja del edificio. Mediante la técnica conocida como Daruma⁷⁵, o cortar y bajar, se “destripa” toda una planta, para bajarla mediante gatos a nivel de suelo, de esta forma todo el trabajo se puede realizar de forma segura [Fig.95-96].



Fig.94. Imágenes de la demolición de la sede de Kajima. *A New demolition Method for tall Buildings. Kajima Cut & Take Down Method.*

APLICABILIDAD DE LA TÉCNICA:

Aunque este método fue desarrollado para edificios con estructura de acero de hasta 20 plantas, también es posible aplicarlo a edificios de mayor envergadura.

⁷⁴ Mizurani Ryo, Yoshikai Shigeru. *A New Demolition Method for tall Buildings. Kajima Cut & Take Down Method.* CTBUH Journal. Seul Conference Themed Issue.

Videos de referencia <http://www.kajima.com.jp> Consultado Marzo 2014.

⁷⁵ El sistema es Cut&Take Down de Kajima es conocido por el nombre de Daruma, que hace referencia a un típico juguete japonés que tiene el objetivo de golpear la pieza inferior de la torre de madera sin que la torre se caiga.

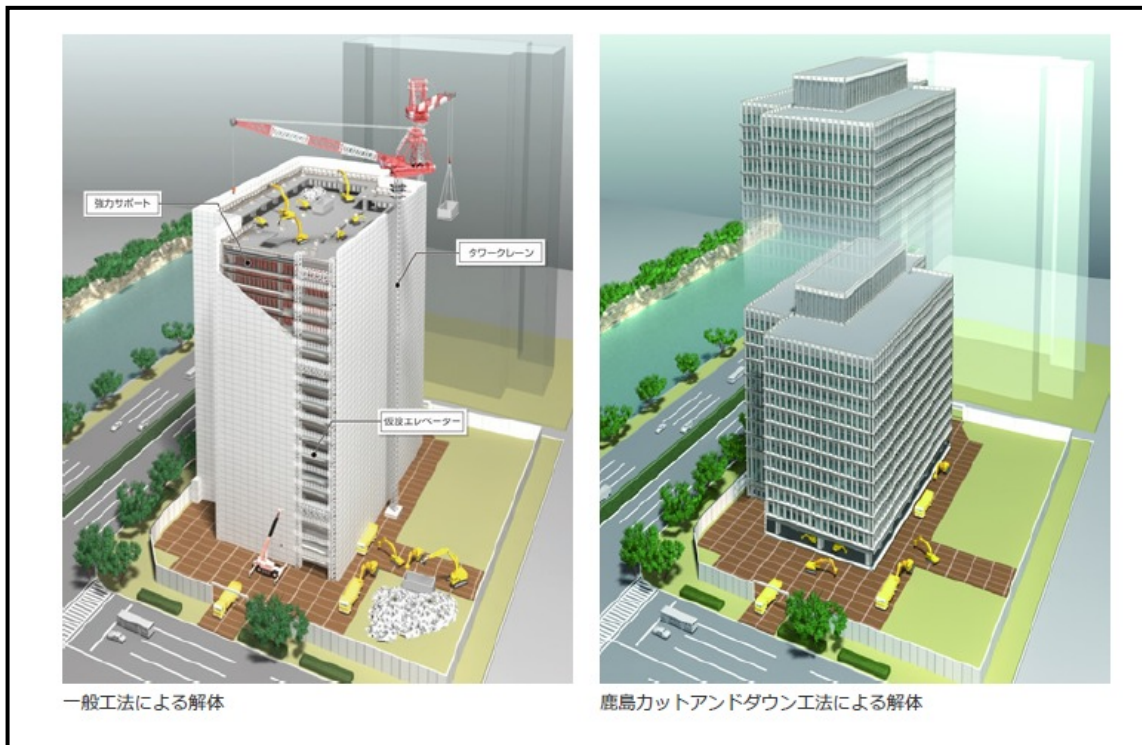


Fig.95.Comparación demolición convencional y sistema Daruma. Consulta Web <http://www.kajima.co.jp>

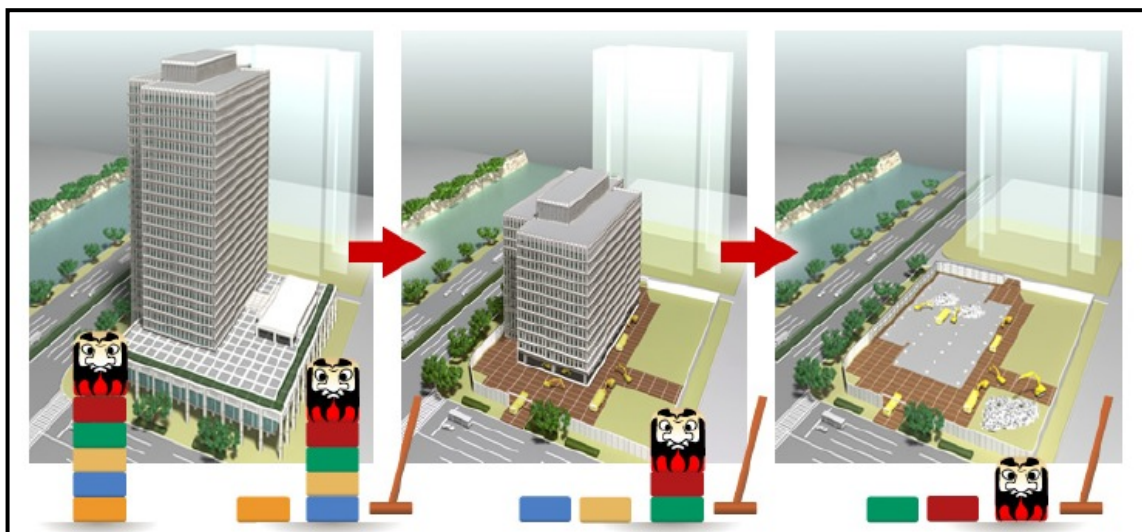


Fig. 96. Esquema de demolición de Kajima. Consulta web <http://www.kajima.co.jp>

PROCESO DE DEMOLICIÓN:

Antes de comenzar la demolición se ejecuta un “Core Wall”, o muro central, es una estructura de hormigón armado ubicado en el centro del edificio diseñado para absorber las posibles fuerzas horizontales generadas por un terremoto. Además de este muro central se dispone una línea de transferencia de cargas o “Load transferring Frame”, formada por una estructura de acero dispuesta sobre cuatro columnas situadas en las esquinas de muro central.

En caso de producirse un terremoto, el muro central y la estructura de transferencia de cargas se combinan para proporcionar resistencia al sismo. Por si esto no fuese suficiente, el sistema también incluye un sismógrafo y un equipo de alerta de terremoto [Fig.97].

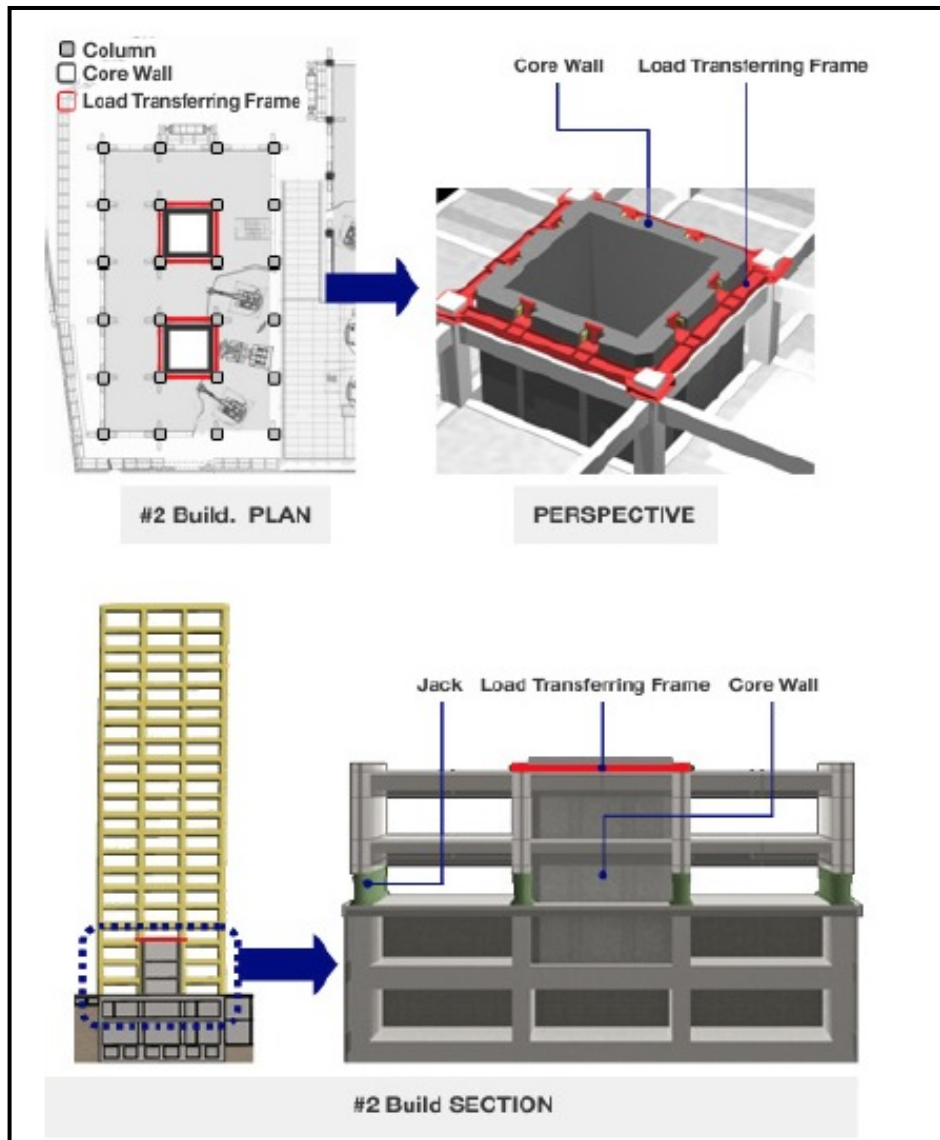


Fig. 97. Ejecución del muro central y estructura de transferencia. Consulta web [http:// www.kajima.co.jp](http://www.kajima.co.jp)

Una vez ejecutados estos elementos el proceso de demolición puede resumirse en pocas palabras. Se disponen unas columnas temporales cerca de las columnas estructurales, se sustituyen las columnas temporales por gatos hidráulicos, se hacen descender los gatos y se demuelen los forjados y las paredes de la planta. Los pasos a seguir serían los siguientes:

1. Se recortan las columnas de la planta en unos 70 cm donde se colocan los gatos hidráulicos [Fig.98].

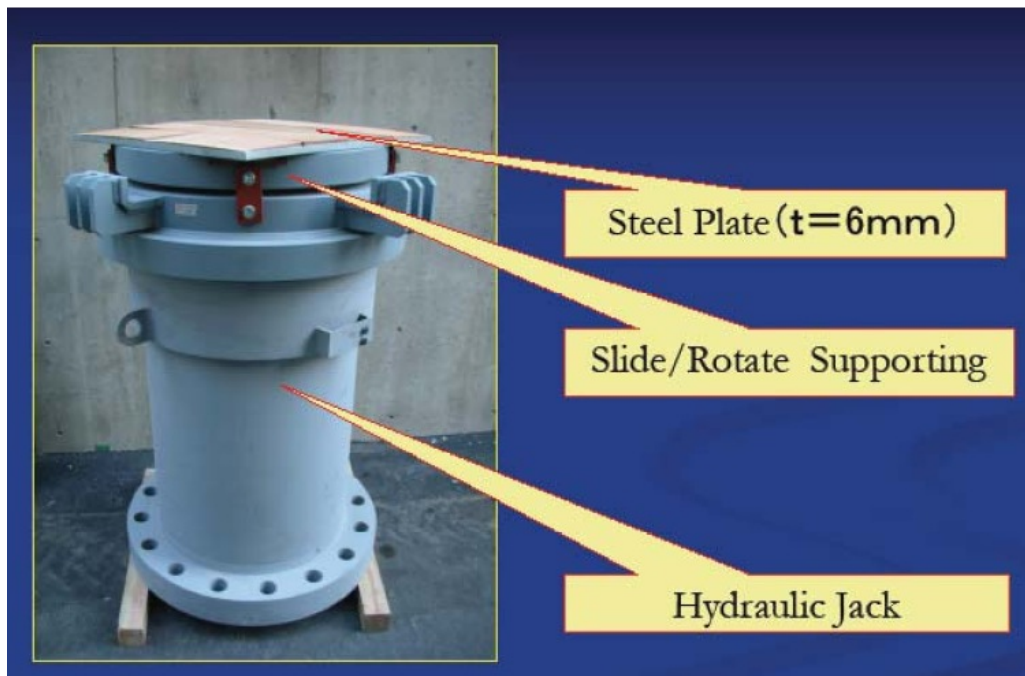
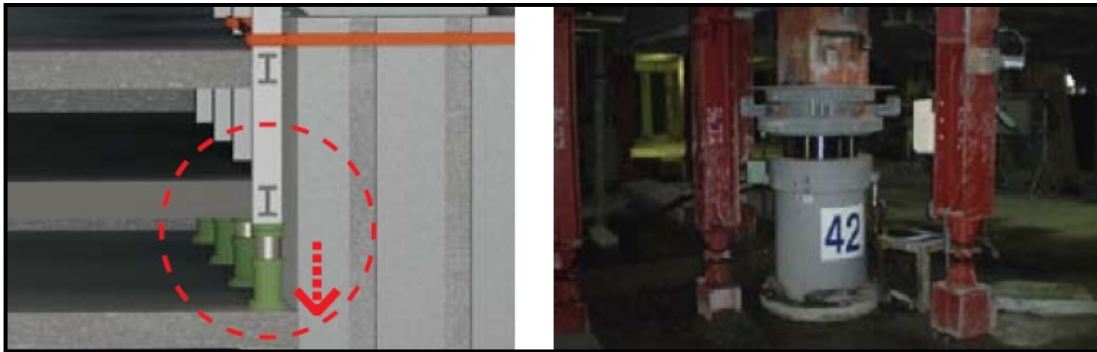


Fig.98-b. Imagen de los gatos hidráulicos, de 75 cm de diámetro y 3 toneladas de peso.

2. Se elevan los gatos para que se rompa la conexión [Fig.99].



- Una vez realizados los pasos 1 y 2 en todas las columnas de la planta, se bajan los gatos [Fig.100].



- Retirar las vigas y el forjado de la planta siguiente [Fig.101].



Este ciclo se repite cinco veces para conseguir descender una planta completa, se tarda 2,5 días en descender una planta y 3,5 días en demoler las vigas, suelos y paredes. En total se requieren de seis días para demoler completamente una sola planta [Fig.102].

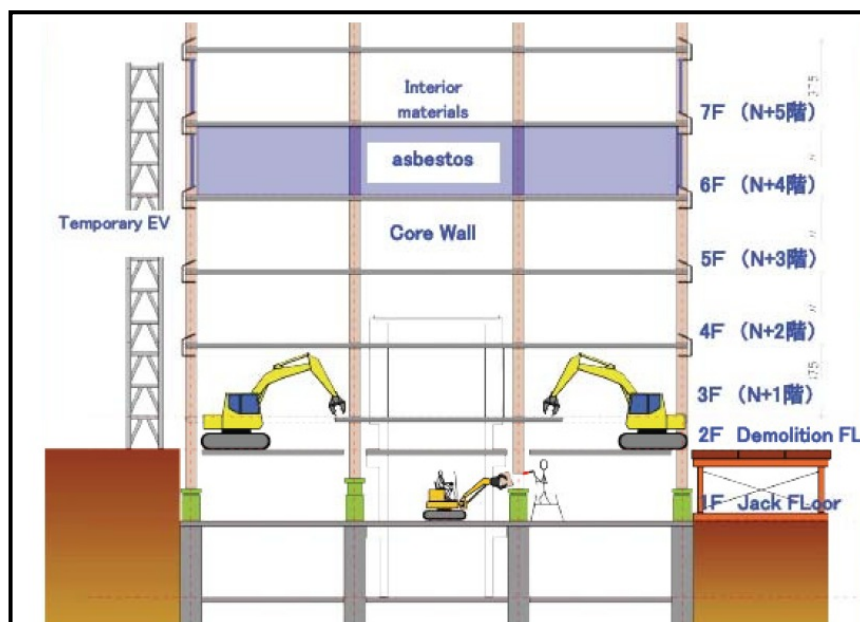


Fig.102. Esquema de trabajo de Daruma. A New demolition Method for tall Buildings. Kajima Cut & Take Down Method.

A la vez que se desarrollan los trabajos de eliminación de las columnas en la planta baja, en la planta inmediatamente superior la maquinaria pesada desmonta paneles de hormigón y barras de acero. En las siguientes imágenes se puede observar el esquema de trabajo [Fig.103].



Fig.103. Fotografías de la demolición de la sede de kajima Corporation. A New demolition Method for tall Buildings. Kajima Cut & Take Down Method.

BENEFICIOS DE LA TÉCNICA:

En comparación con los métodos de demolición convencional DARUMA presenta los siguientes beneficios:

- I. Reduce el polvo y el ruido, y minimiza el impacto en el medio ambiente.
- II. No existe necesidad de establecer andamiaje para las plantas superiores, por lo que reducen los riesgos y aumenta la seguridad.
- III. Los materiales son fáciles de procesar y reciclar, debido a que los trabajos se realizan a nivel de suelo.

- IV. Mediante los sistemas convencionales de demolición los residuos se clasifican según diez tipologías, mientras que el método Daruma permite clasificar los residuos de demolición en veinte tipologías diferentes, lo que conlleva a aumentar la tasa de reciclaje de un 55% a un 93%.
- V. Aunque los costes de demolición son de un 5 a un 10% más alto en comparación con la demolición convencional, el tiempo de trabajo se reduce en 15 % lo que reduce también los costes y permite el reemplazo de la construcción con mayor celeridad.

TECOREP SYSTEM

*Taisei ECOlogical REProduction System*⁷⁶ sale a la luz en 2012 de la mano de compañía japonesa TAISEI, como el ejemplo anterior, se trata de un nuevo sistema de demolición para edificios de gran altura.

A diferencia del Daruma, en este sistema la demolición se realiza desde la parte superior de la edificación, donde bajo una estructura de cobertura la maquinaria pesada realiza la demolición. El sistema Tecorep fue desarrollado para cumplir con tres conceptos básicos: seguridad, respeto al medio ambiente y eficiencia [Fig.104].

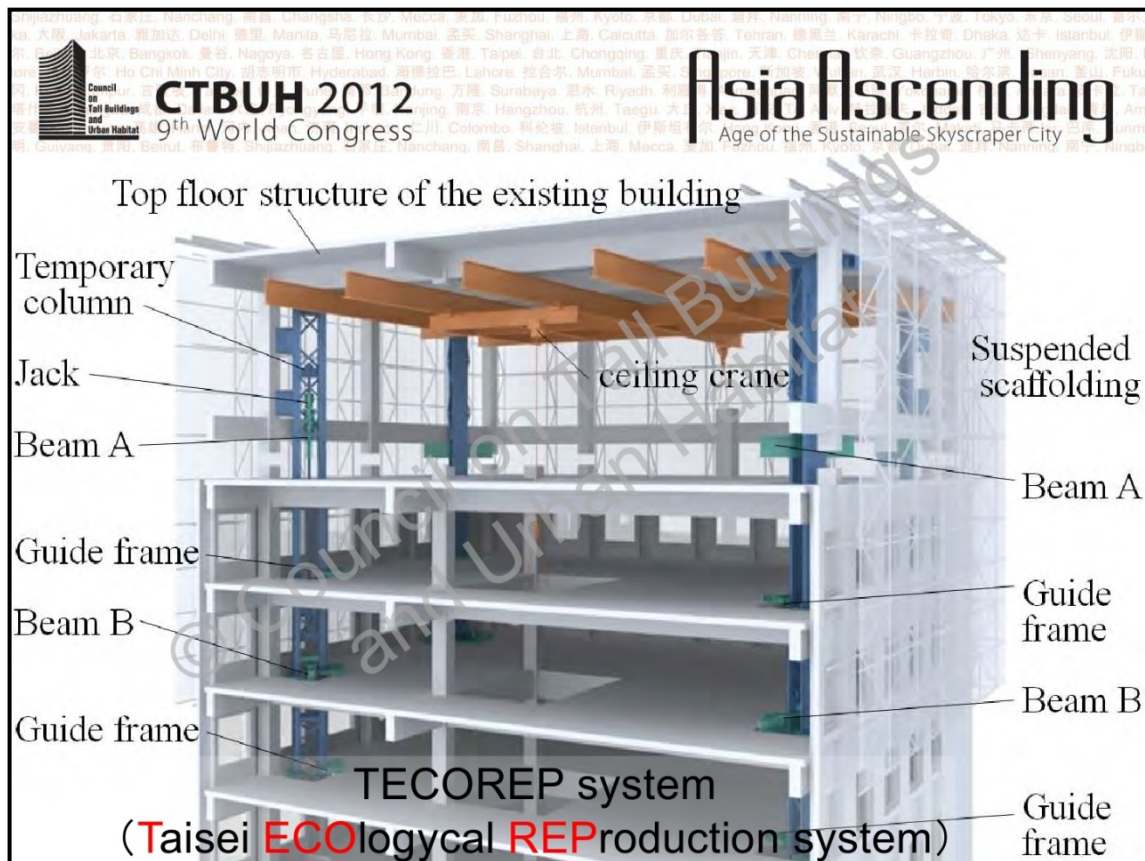


Fig.104. Esquema TECOREP System. *Tecorep System*.

PROCESO DE DEMOLICIÓN:

Tecorep emplea la estructura de la última planta del edificio para la creación de una estructura de cobertura que alberga la superficie donde se realizará la demolición, desde la parte superior a la base del edificio.

⁷⁶ Suido-cho Bldg, Shinjuku-ku. *TECOREP system*. Infrastructure Development Institute. Japan. Febrero 2013.

El esquema de demolición es el siguiente⁷⁷[Fig.105] :

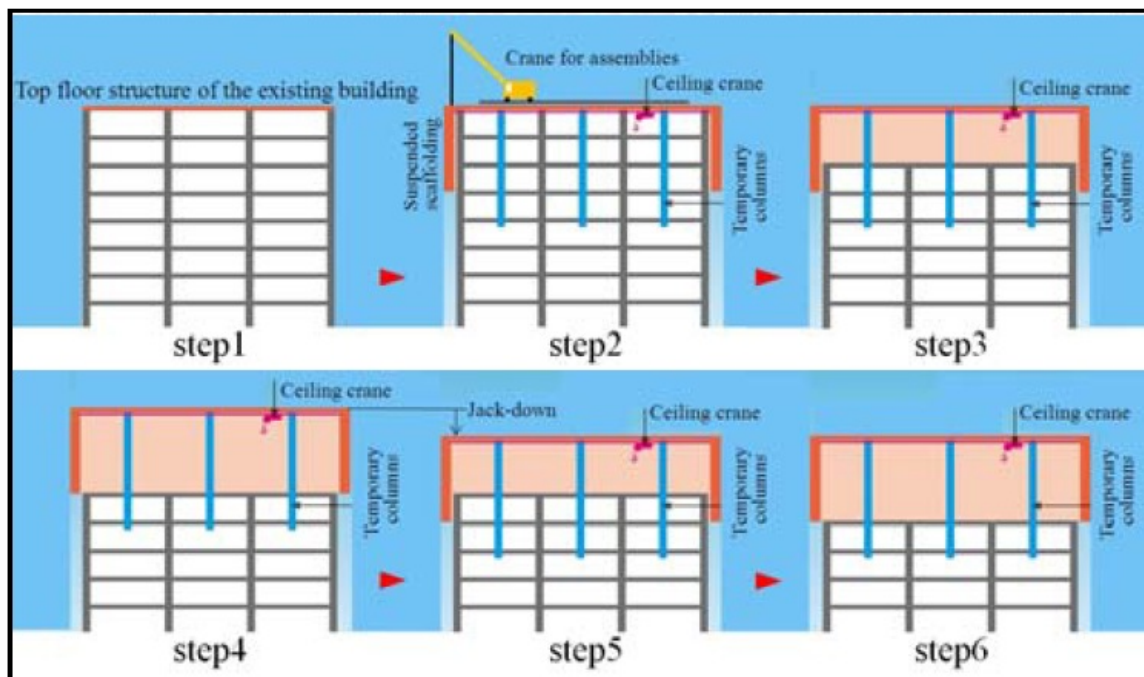
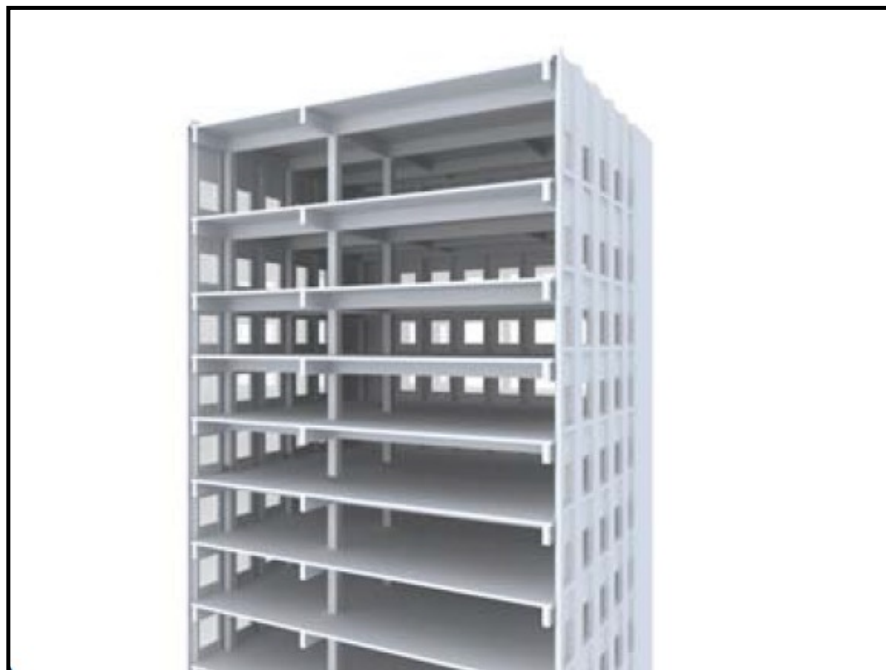


Fig.105. Esquema de demolición. A New Demolition System for High-rise BuildingsK.

1. Ejecución de la estructura de cobertura apoyada sobre la losa superior del edificio [Fig.106].



⁷⁷ Kayashima Makoto . Manager Taise corporation. A New Demolition System for High-rise BuildingsK. CTBHU 2012. World Congress.

2. Ejecución de los huecos en las losas de todas las plantas de la edificación para la posterior instalación de columnas temporales (paso 5) y ejecución de aberturas para la descarga de los materiales desmontados.
3. Retirada de los cerramientos exteriores cubiertos por la recinto de protección.
4. Retirada del forjado de la planta.
5. Instalación de las columnas temporales, en el perímetro de la edificación, que transpan los forjados por huecos realizados anteriormente.
6. Instalación de los puentes grúa, sujetos a la losa superior de la estructura del edificio dentro del recinto de protección.
7. Retirada de los cerramientos exteriores de la planta inmediatamente inferior.
8. Cortado de las columnas de esa planta con la ayuda de los gatos dispuestos en la parte inferior de las columnas metálicas temporales. En la siguiente imagen se pueden apreciar todos los pasos anteriores [Fig.107].



9. Descenso de los gatos, por lo que descenso de toda la estructura protección [Fig.108].



10. Repetición del ciclo descrito hasta completar la demolición del edificio.

BENEFICIOS DEL SISTEMA

- I. Reduce el polvo y el ruido, y minimiza el impacto en el medio ambiente.
- II. No existe necesidad de establecer andamiaje para las plantas superiores, por lo que reducen los riesgos y aumenta la seguridad.
- III. Aumenta la productividad ya que los días de trabajo no se ven reducidos por las inclemencias del tiempo, por lo que se reduce el tiempo de demolición.

**ESTADO DE LA ROBÓTICA Y LA
AUTOMATIZACIÓN EN ESPAÑA**

6

6. ESTADO DE LA ROBÓTICA Y AUTOMATIZACIÓN EN ESPAÑA

En España existen numerosos grupos que investigan en el campo de la robótica que provienen de diferentes ámbitos, principalmente de departamentos de universidades y de centros tecnológicos. Cabe destacar la aglutinación de grupos de investigación que ha sido realizado desde el Comité Español de Automática⁷⁸ (CEA). Dentro del CEA existe el grupo Español de Robótica (GTRob)⁷⁹ como punto de encuentro, al que se han adscrito la mayoría de los investigadores de robótica de España.

En la figura 109 que se adjunta se muestran los principales grupos de investigación de robótica en España.

Durante los últimos años se han celebrado importantes congresos internacionales de robótica en España, merece una mención especial el XV Congreso Mundial de la IFAC⁸⁰ (*International Federation of Automatic Control*).

De acuerdo con los datos recogidos en el informe UNECE/IFR *World Robotics*, en los últimos años la instalación de robots en España ha crecido a buen ritmo, sin embargo cabe preguntarse dónde se fabrican estos robots. Casi el 70 % de los robots instalados en España proceden de la Unión Europea, dejando el porcentaje restante a los robots importados de Japón. Pero ¿alguna de estas multinacionales que fabrican los robots disponen de una sede I+D+I en sus filiales españolas? La respuesta es negativa. Ya que la mayoría de estas filiales se dedican principalmente al almacenaje y distribución de los robots diseñados en el extranjero. Así pues, se puede extraer de todo esto que la mayoría de las empresas de robótica presentes en España no se dedican a la investigación, que se realiza en sus países de origen, limitándose su actuación en España solamente a desarrollos puntuales.

Sin embargo aún con todo esto, si que existen entidades no pertenecientes a empresas que se dedican a la investigación como bien se aprecia en la figura obtenida del Libro Blanco de la Robótica⁸¹, donde queda demostrado, por el significativo número de patentes de que disponen los grupos de investigación españoles [Fig.110].

⁷⁸ La CEA se fundó a finales de 1968 como una iniciativa científica del área del Control Automático en España. Es una asociación sin ánimo de lucro que tiene como objetivo básico el servir de foro y ofrecer el marco para el desarrollo en nuestro país de la automática. Para ampliar información sobre la CEA consulta la web <http://cea.tomatica.es>

⁷⁹ El Grupo Temático de Robótica (GTRob) tiene por objetivo prioritario agrupar y coordinar los esfuerzos de los investigadores y desarrolladores para conseguir reconocimiento por parte de la administración, mejorar la transferencia de resultados a la industria y aumentar la participación en asociaciones internacionales.

⁸⁰ Fundada en 1957, es una federación multinacional de Organizaciones Nacionales Miembros, cada uno en representación de las asociaciones de ingenieros y científicos que se ocupan del control automático en su propio país. Los objetivos de la federación son la promoción de la ciencia y la tecnología en el sentido más amplio en todos los sistemas. Para ampliar información consultar la web <http://www.ifac-control.org>

⁸¹ El Libro Blanco de la Robótica está desarrollado por el Comité Español de Automática (CEA) y su objetivo es presentar una hoja de ruta que permita identificar los alcances de la robótica avanzada, los

Grupo	Entidad
Agents Research Laboratory	Universidad de Girona
Automática, Robótica y Visión Artificial	Universidad de Alicante
Automática, Electrónica y Robótica	Universidad de Almería
Área de Automatización y Robótica	FADA-CATEC
Autonomous Systems Laboratory	Universidad Politécnica de Madrid
Bioingeniería	IAI-CSIC
Centro de Automática y Robótica	Universidad Politécnica de Madrid – CSIC
Cognition for Robotic Research	Universidad Jaume I de Castellón
Control Autom. en Producción y Robótica Móvil	Universidad Politécnica de Valencia
División de Sistemas e Ing. Electrónica	Universidad Politécnica de Cartagena
División Robótica IOC	Universidad Politécnica de Cataluña
Entornos Inteligentes de Fabricación	Fundación Robotiker –Tecnalia
GCI5_Robotics	Universidad del País Vasco
Grup de Robòtica	Universidad de Lleida
Grupo de Autom., Robótica y Visión por Computador	Univ. Miguel Hernández – Elche
Grupo de Control y Robótica	Universidad de Huelva
Grupo de Ingeniería de Control	Universidad de Cantabria
Grupo de Ingeniería Aplicada	Universidad de Murcia
Grupo de Ingeniería Electrónica	Universidad de las Islas Baleares
Grupo de Inv. en Robótica Inteligente y Sistemas	Universidad Politécnica de Cataluña
Grupo de Inv. en Robótica Inteligente y Sistemas	Inst. de Bioingeniería de Cataluña
Modelado, Simulación y Optimización de Sistemas Industriales	Universidad de La Rioja
Grupo de Robótica del IRI	Univ. Politécnica de Cataluña – CSIC
Grupo de Robótica de la UdL	Universidad de la Laguna
Grupo de Robótica de la Universidad de Salamanca	Universidad de Salamanca
Grupo de Robótica, Visión y Control	Universidad de Sevilla
Grupo de Robótica y Sistemas Inteligentes	Universidad de Vigo
Grupo de Robótica y Visión Artificial	UNED
Grupo de Visión y Robótica Asistencial	Universidad de Alcalá
Informática Industrial	Universidad de Murcia
Ingeniería de Sistemas y Automática	Universidad de Málaga
Grupo de Robótica	Univ. Rey Juan Carlos – Madrid
Laboratorio de Sistemas Inteligentes	Universidad Carlos III de Madrid
Neurotecnología, Control y Robótica	Universidad Politécnica de Cartagena
Robótica	Universidad Politécnica de Valencia
Robótica Aplicada a la Sanidad	CARTIF-Valladolid
Robotica, Automática y Visión por Computador	Universidad de Jaén
Robótica, Percepción y Tiempo Real	Universidad de Zaragoza
Robótica y Sistemas Autónomos	Universidad de País Vasco
Robótica y Visión Artificial	CARTIF-Valladolid
Robotic Intelligent Lab	Universidad Jaume I - Castellón
Robotics Lab	Universidad Carlos III Madrid
Sensorización y Robótica Industrial	Universidad Politécnica de Valencia
Sistemas industriales, Gerontotecnología y Biorrobótica	Fatronik-Tecnalia
Sistemas Multisensor y Robótica	Universidad de Oviedo
Sistemas, Robótica y Visión	Universidad de les Illes Balears
Social Robotics Lab	Universidad Politécnica Cataluña
Virtual Reality & Robotics Lab	Univ. Miguel Hernández – Elche
Visión Artificial y Sistemas Inteligentes	Universidad Politécnica Cataluña
Visión por Computador y Robótica	Universidad de Girona

Fig.109. Grupos de investigación españoles en robótica. *Libro Blanco de la Robótica*.

actores socio-económicos, las herramientas y los esfuerzos investigadores necesarios para alcanzar los objetivos. Descarga del documento <http://www.ceautomatica.es/og/robotica/libro-blanco-de-la-robotica>

Campos de aplicación	Número patentes
Inspección y mantenimiento de instalaciones. Se considera al robot como una máquina que puede ser móvil, dotada de brazos y con la posibilidad de tele-operación. En concreto, se encuentra diseñado para moverse en entornos peligrosos, y con respecto a la movilidad puede ser rodante, deslizante e incluso para entornos submarinos.	2
Transporte robotizado. Sistemas de transporte automático basados en vehículos que guiados tanto por sensores a bordo del vehículo (cámaras, sónares, etc.) como por GPS.	8
Asistente a operarios. Empleo del robot o los dispositivos de tipo robótico que se desarrollen para adaptar el puesto de trabajo o la tarea a las exigencias ergonómicas de seguridad laboral. Asimismo, considera dispositivos que mejoren el rendimiento del operario, eliminando o mitigando los esfuerzos que hay que realizar en la tarea. El concepto de robot tendría la forma de brazo manipulador o exoesqueleto.	2
Agropecuaria, pesca y agricultura. Se refiere a la robotización de máquinas agrícolas habituales para que realicen sus tareas de forma autónoma. Asimismo, se contempla el esquileo, el ordeño y el sacrificio y despiece de animales. También incluyen en esta categoría los robots para la detección de incendios (sistemas aéreos autónomos UAS) y las tareas acuícolas para los que se emplearían robots submarinos.	1
Medicina. Robot quirúrgico especializado en posicionar con precisión un instrumento quirúrgico bien mediante movimientos previamente programados, automáticos, ordenados en línea o siguiendo las consignas de un manipulador maestro. Por otro lado, se encuentra la robótica de rehabilitación que se centra en la utilización de sistemas robóticos que interactúan con personas, a fin de complementar o mejorar la rehabilitación. Tanto las órtesis como las prótesis son elementos que están íntimamente unidos al cuerpo del individuo, supliendo funciones e incluso segmentos corporales. Las órtesis son dispositivos que tienden a asegurar al cuerpo una forma conveniente con un fin funcional. Las prótesis son aparatos ortopédicos destinados a reemplazar la parte ausente del cuerpo con un fin a la vez estético y funcional.	5

Fig. 110. Número de patentes españolas en robótica de servicios profesionales. Libro Blanco de la Robótica.

Un ejemplo de estas entidades, es el laboratorio Robotics Lab⁸² perteneciente al Universidad Carlos III y que en 1981 participo en el desarrollo de uno de los primeros robots en España, el DISAM-0, prototipo de un robot manipulador.

En este grupo de investigación se han desarrollado robots con aplicaciones aeroespaciales, robots de asistencia, de escalada, humanoides, robots móviles y robots de construcción, aunque sus actividades de I+D del Robotics Lab en este campo no comenzaron hasta los años 90.

Los miembros del Robotics Lab fueron pioneros en los proyectos de investigación de la Unión Europea, cuando participaron en el Proyecto ROCCO (1992), un robot diseñado para mover y colocar grandes bloques y ladrillos [Fig.111].

⁸² Laboratorio de investigación de la Universidad Carlos III. Página web del grupo <http://www.roboticslab.uc3m.es>



Fig. 111. Proyecto Rocco. Laboratorio Robotics Lab. Universidad Carlos III.

Otros proyectos como el Tunconstruct, Robauco, o el Roma 2 que fueron desarrollados por este grupo, se expondrán como ejemplo de la labor del laboratorio, aunque no se trata de proyectos tan ambiciosos como el TBM's, un robot diseñado para la perforación subterránea.

Tunconstruct: según información del laboratorio, es un proyecto europeo para promover el desarrollo de la innovación tecnológica en la construcción subterránea desarrollado entre 2007 - 2010. El Tunconstruct está totalmente orientado a contribuir al aumento de calidad de vida de los trabajadores y reducción de costo de las futuras infraestructuras subterráneas.

El Tunconstruct contribuirá a ciudades más verdes y más limpias libres de congestión al reducir el costo y tiempo de construcción de las infraestructuras subterráneas.

Robauco: robot autónomo de cooperación. Es objetivo de este proyecto desarrollado entre 2007 y 2009 es el desarrollo de tecnologías para la obtención de robots móviles capaces de realizar tareas complejas que exigen alto grado de autonomía y capacidad de colaboración con los seres humanos. En desarrollo de este proyecto se obtiene el robot Bart 4 [Fig.112].



Fig.112. Bart 4. Web Laboratorio Robotics Lab. Universidad Carlos III.

Roma 2: el objetivo del principal de este proyecto era el desarrollo de un sistema de bajo costo formado por robots escaladores para tareas de inspección y mantenimiento generalmente de estructuras metálicas. Se trata de un robot auto soportado que le permite escalar por las estructuras mediante la sujeción por pinzas especiales [Fig.113].

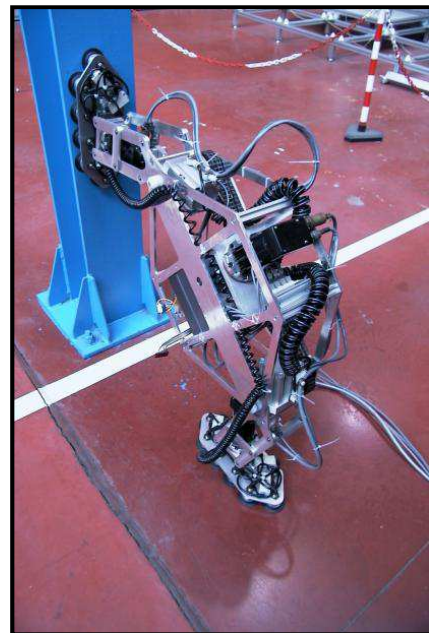
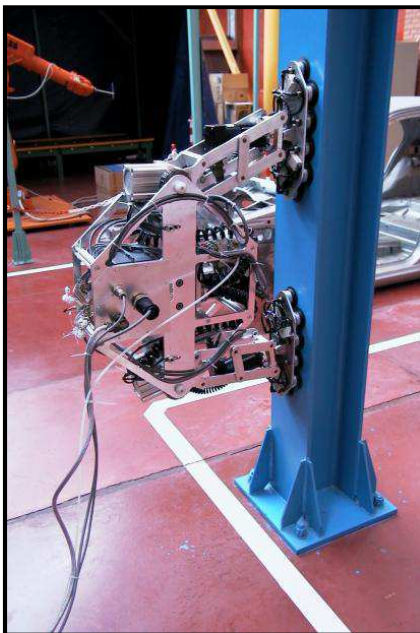


Fig.113. Roma 2 . Web Laboratorio Robotics Lab. Universidad Carlos III.

Aunque uno de los laboratorios más destacados a nivel de robótica aplicada a la construcción es el Robotics Lab, existen otros centros de investigación públicos como el CSIC⁸³, encargado del desarrollo de ROBOCLIMBER⁸⁴, un robot de escalada cuadrúpedo para consolidación de pendientes [Fig. 114].

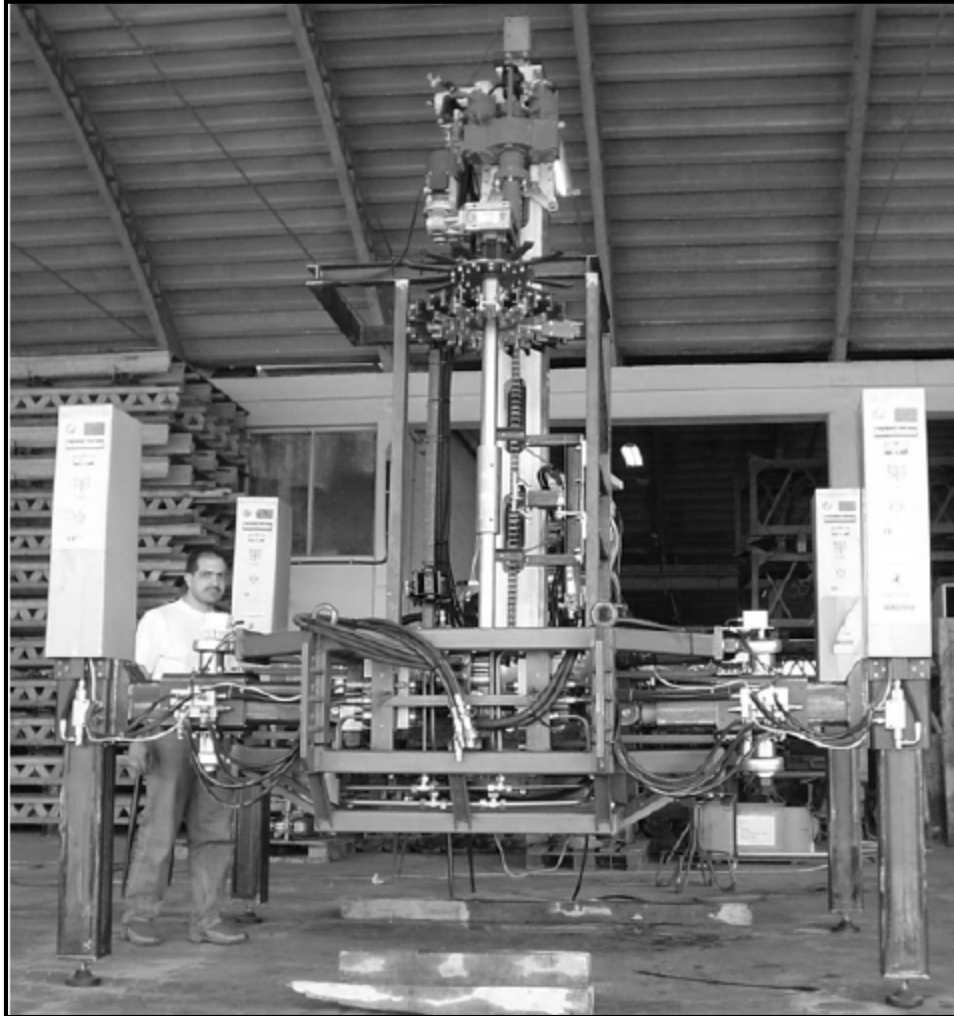


Fig.114. Roboclimber. *Roboclimber Control System Architecture*.

El RoboticsLaB es un grupo de investigación que desde la universidad de Murcia, se va introduciendo lentamente en el campo de la robótica. Aunque sus proyectos de software y robótica no están específicamente diseñados para su implantación en el sector de la construcción, al igual que ocurre con otras investigaciones, si que se pueden considerar aplicaciones de los mismo en este ámbito.

⁸³ CSIC: Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) mayor institución pública dedicada a la investigación en España. Su objetivo principal es desarrollar y promover investigaciones en beneficio del progreso científico y tecnológico. Para ampliar información consultar la web <http://www.csic.es>

⁸⁴ S.Nabulsi, H Montes y M Armada. *Roboclimber: control system architecture*. Control Department, Industrial Automation Institute, Madrid, Spain.

Es el caso de AVG Flexible iFork, una carretilla elevadora modificada, que incluye un mecanismo de dirección asistida. Este prototipo es capaz de transportar cargas de hasta 800 kg a una velocidad máxima de 2,0 m/s.

Una de las principales ventajas del sistema es la flexibilidad en la definición de las zonas de funcionamiento. Mientras que en los sistemas típicos, introducir modificaciones en la ubicación de las zonas de posicionamiento, requiere la paralización del sistema, iFork permite introducir modificaciones en tiempo real, de hecho si aparecen nuevos obstáculos el robot calcula continuamente la manera de llegar al punto de descarga [Fig.115].



Fig.115. iFork. Web www.robolab.inf.um.es

Otro de los grupos de investigación que está pisando fuerte en el mundo de la robótica es el AER-TEP 197⁸⁵ (Automática, Robótica y Metrónica y código TEP 197 del Plan Andaluz de investigación). Comenzó sus actividades en el año 2000, está formado en la actualidad por 28 investigadores, 12 de ellos doctores, de las áreas de conocimiento de Ingeniería de Sistemas y

⁸⁵ Para ampliar información se recomienda consultar la web del grupo: <http://www.cvirtual.aul.es>

Automática, Ingeniería Mecánica, Arquitectura de Computadores, Física aplicada y del CIEMAT- Plataforma solar de Almería.

Las principales líneas de investigación del grupo son: el control predictivo, modelado y simulación de procesos industriales, electrónica, metrólica, robótica de manipulación y móvil, diseño y construcción de robots, entre otras.

Además de entidades públicas, existen otros laboratorios a nivel estatal de carácter privado como el MoviRobotics, fundado en 2006, es el primer suministrador de robótica de servicios en España, y cuenta con prototipos como mSecurit, robot de vigilancia o mScan robot de inspección automática.

A nivel de la comunidad autónoma de Galicia, aunque no son muy numerosas las entidades que se especializan en la investigación en robótica, hay que nombrar algunas como, la empresa Digafer⁸⁶, ubicada en Pontevedra, especializada en el desarrollo de robots para todo tipo de trabajos relacionados con el tratamiento de la piedra, desde robots abujardadores, transportadores o robots multifunción que realizan la funciones de taladro, cortadora, ranuradora y paletizado lo que supone el consiguiente ahorro de costes, espacio y tiempo.

Desde las universidades, en concreto desde el Departamento de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Vigo, contribuyen al desarrollo robótico, quizás no vinculados directamente con la construcción pero seguramente con aplicaciones futuras. Un ejemplo de uno de estas nuevas máquinas es *WatchBot*, un sistema de vigilancia constituido por robots móviles. Aunque en principio se ha proyectado para la vigilancia diaria en viviendas su aplicación en construcción podría estar relacionada también con la vigilancia o tareas de inspección [Fig.116].



Fig.116. WatchBot. Webs.uvigo.es

⁸⁶ Digafer , [http:// www.digafer.es](http://www.digafer.es) consulta web Abril 2014.

Desde la universidad de Santiago de Compostela también apuestan por la investigación en robótica, impulsada por el grupo *Intelligent System*. Fundado en 1989, este grupo básicamente tiene como objetivo desarrollar soluciones computacionales avanzadas, desarrollando robots autónomos con aplicaciones en la industria, entre otros.

Las últimas novedades recogidas en la prensa hacen referencia al centro tecnológico Aimen⁸⁷, situado en Porriño, que coordina el proyecto CARLoS, una iniciativa orientada a desarrollar un robot móvil capacitado para realizar tareas arduas y repetitivas, en cooperación con operarios humanos, en un entorno industrial amplio. Aunque la viabilidad de este proyecto está enfocada a mejorar la productividad en sector naval, su aplicación en la construcción de viviendas es más que factible.

El proyecto CARLoS, acrónimo de *CooperAtive Robot for Large Spaces Manufacturing* tiene como objetivo crear un robot capaz de asumir el 60% de las operaciones de marcado y colocación de piezas específicas en la superestructuras de los navíos, con ello se pretende aumentar la productividad de los astilleros gracias a la mejora tecnológica.

El principal reto de esta innovadora iniciativa es diseñar un sistema de marcado, posicionamiento y soldadura de pernos auto-soldables, que se integrará en un robot móvil capacitado para navegar de forma autónoma siguiendo, bien indicaciones gestuales o instrucciones por voz de un operario o información transmitida en diseños CAD.

Se propone como horizonte final septiembre de 2015.

Como resumen del estado actual de la robótica en España, según datos recogidos en el Libro Blanco de la Robótica, existen 49 grupos de investigación en robótica pertenecientes a las universidades y al CSIC. De entre estos grupos hay una treintena que están íntimamente relacionados con el sector de la construcción.

Por tanto se puede afirmar que España, tiene un potencial investigador significativo en el área de la robótica, siendo algunos de nuestros grupos líderes en ciertas líneas de investigación.

A continuación se adjunta una tabla obtenida del Libro Blanco de la Robótica en la que se resumen las líneas de investigación actuales, atendiendo al número de grupos implicados en éstas, su fortaleza internacional y el interés futuro. Es cada uno de estos proyectos se han seleccionado las líneas prioritarias, clasificándolas de la siguiente forma: *** - fortaleza muy grande, ** - fortaleza grande, *- fortaleza media y – sin fortaleza [Fig.117].

⁸⁷ Desde 1967, el Centro Tecnológico AIMEN ha dedicado sus esfuerzos al fortalecimiento de la capacidad competitiva de las empresas. Centra su labor en vigilar la evolución tecnológica de los mercados, en captar y desarrollar tecnologías emergentes. <http://www.aimen.es>

nº	Línea de investigación de los grupos de I+D+i en España	Número de grupos	Fortaleza internacional	Interés futuro
1	Navegación	17	**	**
2	Robótica móvil	14	***	***
3	Robots autónomos	13	***	***
4	Telerrobótica	12	**	**
5	Planificación	11	*	*
6	Arquitecturas de control de robots	11	*	**
7	Comp. cognitivo y aprendizaje	10	**	***
8	Interfaces humano-robot	8	**	*
9	Sistema multirobot	9	***	***
10	Robots cooperantes	7	***	***
11	Diseño de robots	6	-	-
12	Automatización de factorías	5	*	**
13	Robots asistenciales	4	**	***
14	Robos aéreos	4	**	***
15	Robots submarinos	3	*	**
16	Robots personales	3	*	***
17	Robots escaladores	2	*	**
18	Robots humanoides	1	*	**

Fig. 117. Resumen de líneas de investigación en España. *Libro Blanco de la Robótica*.

Por lo tanto según esta tabla se puede decir que las seis líneas de investigación de la robótica españolas son:

- Robots autónomos
- Robots asistenciales y personales.
- Sistemas multirobot
- Robots exteriores
- Comportamiento cognitivo y aprendizaje
- Telerrótica

Sin embargo la experiencia de colaboración en proyectos nos indica que hay temáticas en las cuales no se ha demostrado estar capacitado para ser líderes aunque el mercado nos demande actuaciones urgentes. En muchos casos, los desarrollos son puntuales y sin perspectiva futura. Se resuelven problemas desde el punto de vista del usuario, dejando a un lado el interés por comercializar el producto.

Todo esto viene motivado por la falta de tejido industrial en algunos sectores, sobre todo de empresas comercializadoras, y también por la escasa visión industrial de alguno de los investigadores que están más interesados en la publicación de resultados que en el desarrollo de productos.

PERSPECTIVAS FUTURAS

7

7. PERSPECTIVAS FUTURAS.

La automatización en la construcción ha pasado por varios períodos, como se ha demostrado en capítulos anteriores, sin embargo se puede afirmar que todavía no se ha consolidado en el sector. Es difícil imaginar que las viviendas del futuro se construirán como los coches de hoy en día, ya que se trata de un sector poco homogéneo, en el que cada arquitecto desea imprimir en sus proyectos un factor diferenciador, algo que a día de hoy todavía se encuentra en fase de investigación en el mundo de la automatización.

Las últimas investigaciones dirigidas a la automatización y robotización del sector de la construcción se centran en las tecnologías de software e *IT Technologies*. La Tecnología de la Información (TI) puede entenderse como la aplicación de ordenadores y equipos de telecomunicaciones para almacenar, recuperar, transmitir y manipular datos. Los esfuerzos por insertar las TI en la construcción tienen como objetivo final lograr productos (proyectos de construcción) mediante procesos más eficaces y eficientes que minimicen pérdidas o desperdicios y que proyecten a los agentes como actores eficientes.

El potencial de la integración de las TI puede observarse desde la fase de diseño, pero es sobre todo en la fase de ejecución donde la implementación de tecnologías 4D no sólo mejora la facilidad de ejecución sino que permite optimizar el uso de recursos durante la etapa de construcción. Las tecnologías 4D combinan modelos 3D CAD con la cuarta dimensión (tiempo), asociada a las duraciones de actividades de construcción. Al combinar las actividades de un programa de ejecución de la construcción con elementos de un modelo 3D se obtiene una simulación visual de la secuencia constructiva, que también es conocida como modelo 4D.

En definitiva la incorporación de TI genera ventajas reduciendo gastos y optimizando tiempos, pero hay que señalar que para que la incorporación de esta tecnología sea exitosa, lleva implícito el desarrollo de otras tecnologías como por ejemplo RFID ó *Radio Frequency Identification* (Identificación por radiofrecuencia). RFID es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remoto que usa dispositivos denominados etiquetas, tarjetas o transponedores. El propósito fundamental de la tecnología es transmitir la identidad de un objeto mediante ondas de radio.

Las etiquetas RFID son pequeños dispositivos, similares a una pegatina que pueden ser adheridas o incorporadas a un producto. Contienen antenas para permitirles recibir y responder a peticiones de radiofrecuencia desde un emisor-receptor [Fig.118 a y b].

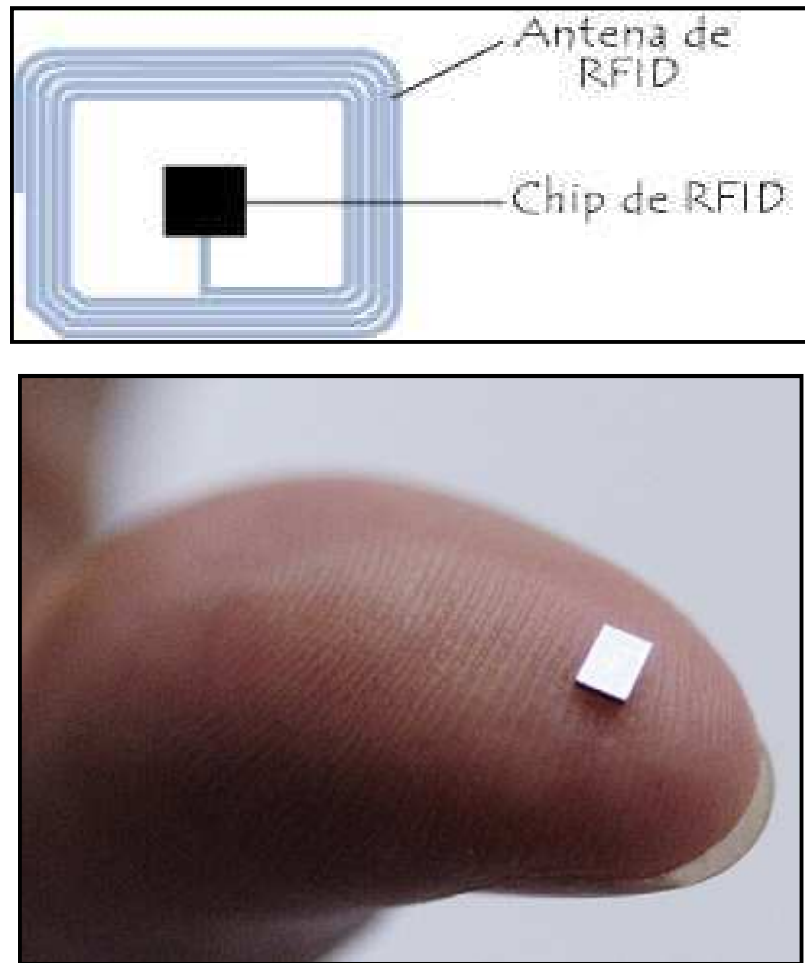


Fig.118 a y b. Imagen de una etiqueta RFID. Consulta web.<http://mundorfid.com>

Sus aplicaciones en el sector de la construcción, abarcan desde sistemas de rastreo del equipo y personal, etiquetado de plantas de mantenimiento hasta el manejo de la logística del lugar de trabajo, mejorando la transparencia de la cadena de suministros de todos los elementos participantes en el proyecto de construcción.

Que las investigaciones futuras se dirijan en el progreso del software no quiere decir que el desarrollo del hardware haya sufrido un cese, sino que ambas áreas deben integrarse y coordinarse para conseguir la completa implantación de las tecnologías RAC (Robótica y Automatización en Construcción) en el sector.

Para alcanzar la consolidación de la automatización de la construcción se tienen que realizar grandes esfuerzos en diferentes frentes:

- Cambios en la actitud de las empresas de construcción, de maquinaria, de investigación, en definitiva desarrollar nuevas tecnologías que sobrepasen la fase de prototipo.
- Integración de las TI en el sector de la construcción.
- La globalización del mercado presenta un alto nivel de competitividad que insta a las empresas a adoptar medios más automatizados.

CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES

Por todos es conocido que el sector de la construcción es un sector con bajo nivel de industrialización y tecnológicamente conservador. Sin embargo, la necesidad de continuar siendo una industria competitiva y mantenerse en las altas esferas del mercado, obliga a la industria de la construcción a reinventarse para buscar nuevas oportunidades de innovación y prefabricación tal y como antes lo hizo la industria manufacturera.

Los inicios de esta industrialización se fechan en 1983, con la aparición del primer robot de construcción. Desde sus comienzos la aplicación robótica en este sector se ha centrado en facilitar la ejecución de las tareas más arduas y peligrosas de los profesionales de la construcción. De este modo los primeros prototipos desarrollados se fundamentan en robots de servicio, derivados de los brazos robóticos industrializados, capaces de realizar tareas de pintado de fachadas (Taisei), acabados de hormigón (Surf Robo) y acabados interiores (Tamir).

Aunque muchos de estos “ayudantes” continúan en el mercado, suponen la fase inicial de la implantación de la robótica en el sector, con la que únicamente se perseguía la mejora de las condiciones de trabajo y el aumento de la productividad. Pero, ¿dónde queda el concepto de sostenibilidad? Para que la implantación de la industrialización en el mercado de la edificación sea exitosa es necesario conseguir que la construcción robótica sea sostenible.

¿Es posible incluir los principios propuestos para la construcción sostenible: reducir, reutilizar y reciclar en la automatización de las tareas?

La respuesta es afirmativa, aunque la solución no se encuentra en los primeros robots de servicio sino en las referencias más actuales. Algunos de ellos todavía en fase de prototipo, son capaces de proporcionar además de reducción de tiempos y costes, ventajas como la reutilización o el reciclaje. Un ejemplo es el robot *ERO Concrete Recycling Robot*, un robot que “come” hormigón, está calificado para realizar una demolición selectiva de manera eficiente de estructuras de hormigón sin residuos ni polvo.

Siguiendo los pasos de la industria manufacturera, la automatización de los procesos se ha ido abriendo paso en el sector de la edificación. Desde los primeros sistemas automatizados, como el SMART SYSTEM hasta uno de los más innovadores como es el caso del RCA SYSTEM o DARUMA (un ejemplo de deconstrucción automatizada) se cumplen con los paradigmas de construcción sostenible, buscando una mejora de las condiciones de trabajo (seguridad y salubridad), mejora de productividad, minimización de las pérdidas de materiales y consiguiente la reducción de costos.

La arquitectura y la tecnología están fuertemente vinculadas, siendo esta relación totalmente evidente en los edificios y construcciones de la revolución industrial. Gracias a la impresión 3D, o proyectos como TERMES y ACR, una nueva revolución puede surgir en la arquitectura de distintas formas; desde los diseños a los materiales empleados, pasando obviamente por el proceso de fabricación.

Desarrollos de impresión 3D, aplicados a la construcción de viviendas como *Contour Crafting*, *D-Shape* o *Kamermaker* persiguen la centralización de ejecución completa de vivienda, con la consiguiente reducción de gasto energético y materia prima. Si además para la realización de los proyectos se emplean materiales biodegradables, se conseguirá, en un futuro próximo, que la construcción de viviendas mediante estos sistemas totalmente automatizados eleve el concepto de sostenibilidad a su más alto nivel.

Al igual que la impresión 3D la Construcción Robótica Aérea (ACR) supone una revolución en el concepto de construcción tradicional. Propone una nueva forma de construcción dinámica que no se encuentra limitada por los factores de robots convencionales. El empleo de pequeños robots aéreos, capaces de interactuar entre sí, abre un espacio sin límites al diseño.

Pero, ¿dónde se están desarrollando estas nuevas propuestas? A la cabeza del desarrollo de estas nuevas tecnologías se encuentra Japón, cuyo principal objetivo es crear una industria más atractiva para las nuevas generaciones emergentes. No obstante, las indagaciones más recientes sobre ACR e impresión se están desarrollando en Europa.

Por el contrario, en España solamente se realizan desarrollos puntuales de ciertas tecnologías cuya investigación se realiza en el país de origen de las grandes multinacionales. Aún así, existen entidades pertenecientes a universidades, como puede ser el Robotics Lab, que cuenta con un importante currículo investigador.

El enfoque de estos nuevos investigadores difiere del actual, en el que se potenciaba el desarrollo del hardware. Las primeras pinceladas de la nueva era de la investigación robótica señalan el avance del software como un objetivo fundamental. De esta forma tecnologías como RFID (Identificación por radiofrecuencia) o el modelado 4D acabarán por implantarse de forma completa en las obras de edificación de igual manera que lo hicieron los robots de servicio.

Conseguir que los avances más pioneros del software se implanten con éxito en los modernos sistemas automatizados que los gigantes de la construcción mejoran día a día, es la clave para que las viviendas del futuro sean un ejemplo de construcción automatizada y sostenible, que le confiera un significado completo al concepto de la “Triple R” (Reducir, Reutilizar y Reciclar).

**BIBLIOGRAFÍA Y OTRAS
FUENTES DE CONSULTA**

9.1

BIBLIOGRAFÍA

- Augugliaro Federico, Mirjan Amar, Gramazio Fabio, Kohler Matthias, D'Andrea Raffaello. *Bulding Tensile Structures with Flying Machines*. International conference on Intelligent Robots and Systems. Tokyo, Noviembre 2013.
- Baeksuk Chu, Kyoungmo Jung, Daehie Hong. *Robot-based construction automation: an application to steel beam assembly (Parte II)*. Republic of Korea. Automation in Construction. Elviesier Science. Febrero 2013.
- Baeksuk Chu, Kyoungmo Jung, Myo-Taeg Lim, Daehie Hong. *Robot-based construction automation: an application to steel beam assembly (Parte I)*. Republic of Korea. Automation in Construction. Elviesier Science. Febrero 2013.
- Balaguer Carlos, Abderrahim Mohamed. *Robotics and automation in construction*. In-Teh. Octubre 2008.
- Balaguer, Carlos; Abderrahim, Mohamed. *Trends in robotics and automation in construction*. University Carlos III of Madrid. Spain. Intech Octubre 2008.
- Bender, Richard. *Una visión de la construcción industrializada*. Editorial Gustavo Gili. S.A. Barcelona 1976.
- Bonwetsch Tobias, Gramazio Fabio and Kholer Matthias. *R-O-B Toward a Bespoke Building Process*. Editado por John Wiley & Sons Ltd. 2012
- CEA (Comité español de automática). *El libro blanco de la robótica en España*. Editorial CEA. España 2011.
- Coniseau, Leslie. *Construction Robots. The search for new building technoly in Japan*. Editorial Asce Press Virginia 1998.
- De la Hoz, Ana. *Robótica industrial: una buena pieza*. Consulta web abril 2014 <http://www.mecalux.es/external/magazine/41754.pdf>
- Dekestelier Xavier. *Desing Potential for Large Scale Additive Fabrication: Freeform*. Foster + Partners. ACADIA09.
- Frank C.Owen y otros. *Performance testing of a large scale manipulator to determine relative utility of several operator interfaces*. University of Texas. 1999.
- Girmscheid, G; Sheublin, F. *New Perspective in Industrialisation in Construction- A State of the Art Report*. IBB – Institut fur Bauplanung and Baubetrieb. Zurich : Eigenverlag des IBB an der ETH Zürich, 2010.
- Guinea Díaz, Domingo. *Automatización de la construcción. Caso práctico de la construcción automática de fachadas*. Ponencia II Congreso Nacional de Investigación en Edificación. Diciembre 2010.
- Helm Volker, Ercan Seler, Gramazio Fabio and Kohler Matthias. *Mobile Robotic Fabrication on Construction Sites: dinRob*. IEEE/RSJ International Conference On Intelligent Robots and Systems. Portugal Octubre 2012.
- Hideo Tanijiri, Bunka Ishiguro, Takashi Arai, Ryoji Yoshitake, Masao Kato, Yasuto Morishima, Nabuhiro Takasaki. *Developmente of automated weather-unaffected builing construction system*. Fujita Corporation. Tokio, Japan. ISARC 13 th.
- Hirochi Miyakawa; Jyunichi Ochiai; Katsuyuki Oohata and Takashi Shiokawa. *Application of automation building construccction system for high-rise office building*. ISARC 2000.

- IAARC. *Robots and Automated machines in Construction*. Marzo 1998.
- Infrastructure Development Institute. *TECOREY SYSTEM (Taisei ECOlogical REProduction System)*. Japanese Infrastructure Newsletter. February 2013. No 62.
- Inmoley guías prácticas y noticias: *Automatización y robótica en la construcción. Robots en la construcción /edificación*. Guía práctica Inmoley. Febrero 2014.
- International Federation of Robotics. *History of Industrial Robots*. IFR.2012.
- J.Maeda. *Devolpment and application of the SMART System*. Automation and Robotics in Construction XI. Tokyo, Japan 1994. Elsevier Science 1994.
- Jackson, R. James. *Robotics in the construction industry*. Universidad de Florida. Verano de 1990.
- Jan Willmann, Federico Augugliaro, Thomas Cadalbert, Raffaelo D’Andrea, Fabio Gramazio and Mattias Kohler. *Aerial Robotic Construction Toward a New Field of Architectural Research*.International Journal of Architectural computing. Issue 03. Zurich 2013.
- John G Everett and Hiroshi Saito. *Automation and Robotics in Construction: social and cultural differences between Japan and the United States*. Automation and Robotics in Construction XI. Michigan and Tokio 1994.
- Justin Werfel, Kristin Petersen and Radhika Nappal. *Desing collective behavior in a termite inspired robot construction team*. Science Mag Vol 343. Febrero 2014.
- Khaled Zied, Derek W. Seward. *The devolpment of a robotic system for tool deployment in hazardous environments*. Lancanter University. UK.
- Khoshnevis, Behrokh. *Automated Construction by contour Crafting- related robotics and information technologies*. University of Southern California. Automation in Constructions. The best of ISARC 2002. January 2004.
- Khoshnevis, Behrokh. *Houses of the future. Construction by the Countour Crafting Building Houses for Everyone*. University of Southern California Urban Initative. August 2004.
- Kibert Charles. *Sustainable Construction at the start of the 21 Century* . Special Issue Article The Future of Sustainable Construcion. Mayo 2003.
- Kidman Horace. *D-Shape*.<http://www.d-shape.com> . Julio 2009.
- Kimio Kikuchi, Shuzo Furuta, Takayoshi Imai. *Development and the result of practical works of concrete floor finishing robot*. The 5th International Symposium on Robotics in Construction. Japan 1988.
- Laboratory of Building Realization and Robotics, Technische Universitat Munchen. *Advanced Construction and Building Technology for Society*. Proceeding of the CIBW 119 CIC 2012 Workshop. 24 Octubre 2012.
- Lee, Unf- Kyu Yoo, Wi Sung An, Sung-Hoon Doh, Nakju Cho, Hunhee Jun, Changhym Kin, Taehoon Lee, Young Hoon. *Performance assessment model for robot-based automated construction systems*. Journal of the Korea Institute Building Construction. Vol 13. No 4.
- Maged A. Helal. *Towads a sustanible construction industry. Automated deconstruction and recycling*. Technische Universität München. Sustainable Building Conference. Noviembre 2013. Egipto.
- *Maillardet’s Automaton*. The Franklin Institute. Consulta web realizada Noviembre 2013.

- Makamoteo Kayashima. *A new demolition system for high –rise buldings*. CTBUH 2012 world Congress.
- Mirjan Amar, Gramazio Fabio, Kohler Mattias. *Building with flying robots*. Architecture and Digital Fabrication Department of Architecture. Zurich. 2013.
- Monolite UK LTD. *D-shape Mega Scale 3Dprinter*. Website <http://www.monolite.org> Marzo 2009.
- Morales, Guillermo; Herbzman Zohar; Fazil, T. *Robots and contruction automation..* University of Florida. Automation and Robots in Construction XVI. Elviesier Science 1999.
- Noriyuki Furuka, Takashi Shiokawa, Koji Hamada y otros. *Present circumstances of an autoamted construction system for high-rise reinforced concrete building*. Obayashi Co. Japan 2000.
- Rafael Aracil, Carlos Balaguer and Manuel Armada. *Robots de servicio*. Universidad de Madrid. Revista Iberoamericana de Automatica. Abril 2008. <http://www.riai.isa.upv.es>
- Riadh Zaier. *The future of humonoid robots- reseach and applications*. Publisheb by Intech. Croatia. January 2012.
- Rick Best and Gerard Valence. *Desing and construction building in value*. University of Technology Sydney. 2002.
- Rosenfeld Y, Warszawaski A and Zajicek Uri. *Interior finishing building robot : TAMIR*. Faculty of civil engineering. Israel.
- Roukhomovsky, Bernard. *Vaucanson& l’homme artificiel*. Le Journal des expositions. Musée dauphinois. Abril 2010.
- Rubenstone, Jeff. *Robots on the jobsite advancing in construction*. Marzo 2014. Consulta web. <http://construction-robots.com/news>. (Consultado marzo 2014).
- Ryo Mizutani and Shigeru Yoshikai. *A new demolition method for tall buildings. Kajima Cut&Take Down Method*. Kajima Corporation. CTBUH Journal 2011 Issue IV.
- Ryuichi Hodoshima and Toshihito Okamoto, Junichi. *Development of TITAN XI: a quadruped walking robot to work on slopes*. International Conference on Intelligent Robotics and Systems. Japan 2004.
- S Nabulsi, H Montes and M Armada. *ROBOCLIMBER: Control System Architecture*. Control Department, Industrial Automation Institute, Madrid, Spain.
- Sakamoto, S; Mitsuoka,H. *Totally Mechanized Construction System for High-rise Buildings (T-UP System)*.Tokio, Japan. Automation and Robotics in Construction XI. Elviesier Science 1994.
- Sánchez-Martín FM, Jimenez Schlegl P, Millán Rodríguez F, Salvador –Bayarri J, Monllau Font V, Palou Redorta J, Villavicencio Mavrich H. *Historia de la robótica: de Arquitas de Tarento al Robot de Vinci Parte I y II*. Institut de Robótica Industrial (IRI). Cataluña 2007.
- Scheublin, Frits. *Strategy to Enhance Use of ICT in Construction*. New perspective in industrialisation in construction. Girmscheid, G. Eigenverlang des IBB an der ETH Zürich. 2010.
- Seward, Derek. *LUCIE the robot Excavator- desing for system safety*. Lancaster Unviersity, UK. International conference on Robotics and Automation. Abril 1996.
- T , Uneo. *A Jpanese View on the role of automation and robotics in next generation construction*. Automation and Robotics in Construction XI. 1994.

- T.Bock, T.Linner and W.Ikeda. *Exoskeleton and humanoid robotic technology in construction and built environment*. Technische Universitat München. 2012. Available from: [http:// www.intechopen.com/books/the-future-of-humanoid-robots-research-and-applications/exoskeleton-and-humanoid-robotic-technology-in-construction-and-built-environment](http://www.intechopen.com/books/the-future-of-humanoid-robots-research-and-applications/exoskeleton-and-humanoid-robotic-technology-in-construction-and-built-environment).
- Tae-Koo Kang, Changjoo Nam, Ung-Kyum Kee, Nakju Lett Doh and Gwi-Tae Park. *Development of robotic-crane based automatic construction systems for steel structures of high-rise buildings*. Scholl of Electrical Engineering, Kora University, Seoul, Korea. 2011.
- Taylor M, Wamuziri S, Smith I. *Automated construction in Japan*. Proceeding of ICE. Febrero 2003.
- Tetsuji Yoshida, Takatoshi Ueno, Minoru Nonaka and Shinobu Yamazaki. *Development of spray robot for fireproof cover work*. Japan 1986.
- Thomas Bock, Thomas Linner and Shino Miura. *Robotic high-rise construction of Pagoda Concept: innovate earthquake-proof desing for the Tokio Sky Tree*. CTBUH 2011 World Conference, Seul, Korea.
- Van Egmond, Emilia. *Industrialisation for Sustainable Construction? New perspective in industrialisation in construction*. Girmscheid, G. Eigenverlang des IBB an der ETH Zürich. 2010.
- Vega Cantor, Renan. *Un bicentenario olvidado: la rebelión de los luditas*. 2012.
- W.Poppy. *Driving forces and status of automation and robotics in construction in Europe*. University of Tecnology Lebensstrasse, Berlin. Automation and Robotics in Construction XI. Elsevier Science 1994.
- Warszawski, Abraham. *Industrialized and Automated Building Systems*. Editorial E &Fn Spon. London 1999.
- Yuchen Liu. *Robotic Desing Construction. Digital fabrication strategies for freeform masonry casting ad mobile assembly*. Chonping University. Junio 2009.
- Yuichi Ikeda and Tsunenori Harada. *Application of the automated building construction system using the convencional construction method together*.Obayashi Corporation. ISARC 2006.
- Yusuke Yamazaki, Junichiro Maeda. *The SMART System: an integrated application of automation an information technology in production process*. Computers in industry. Elsevier Science 1998.

9.2. REFERENCIAS WEB

- <http://www.3dprintcanalhouse.com> Proyecto impresora 3D KamerMaker.
- <http://www.biografica.info> Biografías de personajes influyentes de la historia.
- <http://www.buildfreeform.com> Equipo de investigación universidad Loughborough
- <http://www.ceautomatica.es> Comité Español de Automática
- <http://www.cibword.nl> International Council for Research and Innovation.
- <http://www.citega.com> Empresa con aplicaciones dirigidas a robótica industrial
- <http://www.construction-robotics.com> Compañía que promueve el avance de la construcción a través de las nuevas tecnologías.
- <http://www.contourcrafting.org> Tecnología de impresión 3D desarrollada por Behrokh Khoshnevis. Universidad de California.
- <http://www.cotec.es> Fundación para la innovación tecnológica.
- <http://www.csic.es> Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- <http://www.darpa.mil> Agencia de Proyectos de Investigación Avanzados
- <http://www.digafer.es> Empresa gallega desarrolladora de líneas de producción automatizadas.
- <http://www.d-shape.com> Nuevo sistema de construcción robótico.
- <http://www.gramziokohler.com> Sitio web de los arquitectos Gramazio y Kohler
- <http://www.gsi.dec.usc.es> Grupo de investigación robótica de la universidad de Santiago de Compostela.
- <http://www.iaarc.org> Asociación Internacional de Automatización y Robótica en la Construcción.
- <http://www.ifac-control.org> Federación Internacional de Control Automático
- <http://www.ifr.org> Federación Internacional de Robots
- <http://www.institutofranklin.net> Instituto de Investigación en Estudios Norteamericanos.
- <http://www.jara.jp/e> Japan Robot Association
- <http://www.kuka-robotics.com/es/> Sitio web de la empresa KUKA robots.
- <http://www.librarun.org> Sitio web de lectura de libros on-line.

- <http://www.mariotaddei.net> Investigador dedicado al estudio de Leonardo Da Vinci.
- <http://www.movirobotics.com> Instinto tecnológico. MiviRobotics.
- <http://www.plataformaarquitectura.cl> Sitio web sobre noticias de arquitectura.
- <http://www.qbotix.com> Empresa dedicada a la investigación robótica.
- <http://www.robolab.inf.um.es> Grupo investigación robótica de universidad de Murcia.
- <http://www.robotics.org> Asociación de industrias de Robótica
- <http://www.robotikka.com> Sitio web de noticias sobre robotica y robots.
- <http://www.robotsdeservicio.com> Sitio web dedicado a informar y acercar la robótica fuera del ambiente industrial.
- <http://www.robtoticslab.uc3m.es> Grupo de investigación robótica perteneciente a la universidad Carlos III de Madrid.
- <http://www.thebusinessofrobotics.com> Sitio web sobre startups y negocios relacionados con la robótica.
- <http://www.theroboticschallenge.org> Competición robots creada por la DARPA para fomentar su desarrollo.
- <http://www.worldrobotics.org> Estadísticas, análisis de mercado, pronósticos y estudios de casos de las inversiones en robots.

GLOSARIO

10

10. GLOSARIO

Actuador: el actuador genera el movimiento de los elementos del robot según las órdenes dadas por la unidad de control.

Actuador neumático: los actuadores neumáticos, son aquellos en los que la fuente de energía es el aire a presión. Que a su vez pueden ser de cilindros neumáticos o de motores neumáticos.

Actuador hidráulicos: aunque son similares a los neumáticos, en éstos la fuente de energía son los aceites minerales a presión. Poseen ciertas ventajas sobre los actuadores neumáticos:

1. Mayor precisión
2. Facilidad para realizar un control continuo
3. Desarrollan elevada fuerza
4. Estabilidad frente a cargas estáticas
5. Son autolubrificantes

Actuadores eléctricos: motores de corriente continua. Son los más empleados debido a su facilidad de control.

APT: *Automatically Programmed Toll*, lenguaje de programación utilizado para generar instrucciones para máquinas de control numérico.

Archivo STL: siglas provenientes del inglés Stereo Lithography, es un formato de archivo informático de diseño asistido por computadora que define la geometría de objetos 3D.

Autómata: máquina que imita la figura y los movimientos de un ser animado.

Cámaras con visión CCD: cámaras industriales que usan sensores de imagen CCD. El CCD es un sensor con diminutas células fotoeléctricas que registran la imagen, la capacidad de resolución de la imagen depende del número de células del CCD.

CIM: *Computer integrated manufacturing*, fabricación mediante la utilización de ordenadores para controlar toda la producción del proceso. A través de la integración de los ordenadores, la fabricación puede ser más rápida y menos propensa a errores.

Control numérico: es un sistema de automatización de máquinas que son operadas mediante comandos programados en un medio de almacenamiento. Las primeras máquinas con control numérico se construyeron en los años 40, basadas en las máquinas existentes con motores modificados cuyos mandos se accionaban automáticamente siguiendo las instrucciones dadas en un sistema de tarjeta perforada.

Controlador: el controlador de un robot, como su propio nombre indica, es el que controla cada uno de los movimientos del manipulador y guarda sus posiciones. El controlador recibe y envía señales a otras máquinas-herramientas (por medio de señales de entrada y salida) y almacena programas.

Cuadrucoptero: aeronave que se eleva y se desplaza por el movimiento de cuatro motores colocados en los extremos de una estructura.

DOF: *Degree of freedom*, o los grados de libertad, hacen referencia al número de movimientos independientes que se pueden realizar. Un grado de libertad es la capacidad de moverse a lo largo de un eje.

End-effector: una de las partes que conforma un manipulador. Al extremo que se conoce comúnmente como sujetador o gripper es la herramienta que se fija al brazo para la realización del trabajo predeterminado.

Estereolitografía: es un proceso de fabricación rápida de prototipos que utiliza la estratificación para la construcción de un modelo físico de diseño. Esta tecnología utiliza diferentes resinas epoxis fotosensibles que solidifican capa a capa al exponerlas a un láser. La característica principal de la estereolitografía es la elevada precisión en la reproducción de detalles en los prototipos rápidos de fábricas.

Exoesqueleto parcial: robot que aumenta una parte del cuerpo

Exoesqueleto: es una máquina móvil consistente principalmente en un armazón externo que lleva puesto una persona y un sistema de potencia que proporciona al menos parte de la energía para el movimiento de miembros.

FDM: modelado de piezas por fusión, es un proceso de fabricación utilizado para el modelado de prototipos y la producción a pequeña escala. El modelado por deposición utiliza una técnica adictiva, depositando el material en capas. Es la tecnología de prototipado rápido más usada después de la esterolitografía.

Impresión 3D: una impresora 3D es un dispositivo capaz de generar un objeto sólido tridimensional mediante la adicción de material. Las impresoras 3D se basan en modelos digitales definidos mediante un software de modelado.

IT Technology: aplicación de ordenadores y equipos de telecomunicaciones para almacenar, recuperar, transmitir y manipular datos.

ITA: un *Intelligent Agent* o agente inteligente, es una entidad capaz de percibir su entorno, procesar tales percepciones y responder o actuar de manera racional. La mayoría de los agentes inteligentes siguen la misma estructura: reciben precepciones desde los sensores y envían acciones a los actuadores.

Manipulador: mecanismo formado por elementos en serie, articulados entre s, destinado al agarre y desplazamiento de objetos. Es multifuncional y puede ser gobernado directamente por un operador humano o mediante un dispositivo lógico.

Memoria tambor: fue una de las primeras memorias de ordenador. Inventada por Gustav Tauschek en Austria, ampliamente empleada en los años 50. Un tambor constituía la memoria de trabajo principal, siendo los datos y programas cargados al tambor usando medios como cintas perforadas o tarjetas perforadas. Un tambor es un gran cilindro metálico cuya superficie

exterior está recubierta por un material ferro magnético. A lo largo del eje del tambor se dispone una fila de cabezas de lectura.

Microprocesadores: procesador de muy pequeñas dimensiones, en el que todos los elementos están agrupados en un solo circuito integrado. Es el encargado de ejecutar los programas, desde el sistema operativo. En 1971 la compañía Intel consiguió por primera vez poner los transistores que constituían un procesador sobre un único circuito integrado el “4004” es el primer microprocesador.

Reprogramabilidad: capacidad para modificar la tarea mediante el cambio del programa, que propicia su adaptación rápida a diferentes aplicaciones.

RFiD: *Radio Frequency indentificaion*, es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remoto que usa dispositivos denominados etiquetas, tarjetas o transponedores. El propósito fundamental de la tecnología es transmitir la identidad de un objeto mediante ondas de radio

Robot autónomo: entidad física con capacidad de percepción sobre un entorno y que actúan sobre el mismo en base a dichas percepciones, sin supervisión de otros agentes.

Robot de secuencia fija: aquel que repite de forma invariable, el proceso de trabajo preparado previamente.

Robot de secuencia variable: aquel en el que se pueden alterar algunas de las características de los ciclos de trabajo.

Robot humanoide: un robot humanoide no es más que un robot con forma y dimensiones constituidas para parecerse a la del cuerpo humano. En general los robots humanoides, tienen un torso, cabeza, dos brazos y piernas, aunque formas de robots humanoides pueden modelar sólo una parte del cuerpo.

Robot manual: cuando el operario controla directamente la tarea del manipulador, recibe el nombre de robot manual.

Sistema automatizado: sistema de automatización diseñado con el fin de usar la capacidad de las máquinas para llevar a cabo determinadas tareas efectuadas anteriormente por la intervención humana.

Sistema de hardware: el hardware es un término genérico empleado para designar a todos los elementos físicos que componen un ordenador.

Sistema de levas: en ingeniería mecánica, una leva es un elemento mecánico que está sujeto a un eje por un punto que es su centro geométrico. La forma de la leva depende del tipo de movimiento que se desea imprimir al seguidor. Un sistema de levas permite obtener un movimiento lineal alternativo, o un o oscilante, a partir de uno giratorio.

Sistema de software: es todo aquello que le proporciona las instrucciones necesarias para realizar una determinada función.

Tarjetas perforadas: la tarjeta perforada es una lámina hecha de cartulina que contiene información en forma de perforaciones según un código binario. Estos fueron los primeros medios utilizados para ingresar información e instrucciones a un ordenador en los años 1960. Actualmente las tarjetas perforadas han sido reemplazadas por medios magnéticos y ópticos de ingreso de información.

Telar automatizado: telar mecánico inventado por Joseph Jacquard, empleaba tarjetas perforadas para conseguir tejer patrones en la tela.

LISTADO DE FIGURAS

11. LISTADO DE FIGURAS INCLUIDAS

CAPITULO 3: INTRODUCCIÓN HISTÓRICA. LOS INCIOS DE LA ROBÓTICA.

Fig.1. Imagen de las estatuas que preservaban el templo de Amenhotep. Consulta web <http://www.historiaautomatas.blogspot.es>

Fig.2. Mecanismo de apertura automática de la puerta del templo de Herón. Consulta web <http://www.biografica.info>

Fig.3. Imagen del mecanismo del reloj de agua de Ctestebio. Consulta web <http://www.historiaautomatas.blogspot>

Fig. 4. Reproducción león Leonardo Da Vinci. Consulta web <http://www.mariotaddei.net>

Fig.5. Reproducción del caballero de Leonardo Da Vinci. Consulta web <http://www.mariotaddei.net>

Fig.6. Esquema de funcionamiento del autómatas del flautista. Fuente: Publicacion del *Musée National des Techniques_Jacques Vaucanson*.

Fig.7. Mecanismo de “El Pato” de Vaucanson. Publicacion del *Musée National des Techniques_Jacques Vaucanson*.

Fig.8. Imagen de los tres autómatas de Vaucanson. Publicacion del *Musée National des Techniques_Jacques Vaucanson*.

Fig.9. Reconstrucción del telar de Vaucanson. Paris. Publicacion del *Musée National des Techniques_Jacques Vaucanson*.

Fig.10. Imagen del automata ajedrecista de Johan Wolfgang. *Institut de Robótica Industrial (IRI)*. Historia de la robótica.

Fig.11. Imagen del mecanismo de levas o discos del “ Dibujante”. Instituto Frankling.

Fig.12. “El Dibujante”. Instituto Frankling.

Fig. 13. Reproducción telar de Jacquard. Consulta web <http://www.automata.cps>

Fig.14. Las tres leyes de la robótica según Asimov. Institut de la Robotica Industrial. Historia de la robótica.

Fig.15. Primer robot “Unimate” 1960. Consulta web <http://www.monografias.com>

Fig.16. Robot Shakey. *Artificial Intelligencia Center, Shakey the robot*.

Fig.17. Primer robot de construccion SSR-1. *Development of Spray Robot For Fireproof Cover Work*.

CAPITULO 4: ROBOTICA APLICADA A LA EDIFICACIÓN

Fig.18. Esquema numero máximo de grados de libertad de un robot.

Fig.19. Esquema Robot SSR-1 . *Development of Spray Robot For Fireproof Cover Work.*

Fig.20. Modificaciones del robot pulverizador. *Development of Spray Robot For Fireproof Cover Work.*

Fig.21. Esquema Robot SSR-2 . *Development of Spray Robot For Fireproof Cover Work.*

Fig.22. Productividad en la industria del automóvil y la construcción. *Trend in robotic and automation in construction.*

Fig.23. Brazo robótica KUKA . Consulta web <http://www.kuka-robotics.com>

Fig.24. Robot ARC Mate 120. Consulta web empresa FANUC.

Fig.25. Robot Surf Robo . *The 5th International Symposium on Robotics in Construction.*

Fig.26. Kote King . Construction Robots. *The search for new building technology in Japan.*

Fig.27. Robocon .Revista ICE “ *Automation construction in Japan*”.

Fig.28. Obayashi’s robot. *Construction Robots. The search for new building technology in Japan.*

Fig.29. Taisei . *Construction Robots. The search for new building technology in Japan.*

Fig.30. Robot CFR-1. *Construction Robots. The search for new building technology in Japan.*

Fig.31. Boarman - 100. *Construction Robots. The search for new building technology in Japan.*

Fig.32. Robot Mighty Hand.*Construction Robots. The search for new building technology in Japan*

Fig.33. TAMIR.*Interior finishing building robot, TAMIR.Institute of Techonology Israel.*

Fig.34. STARLIFTER. *The devolpepmente of a robotic system.*

Fig.35. LSM. *Industrialized and Automated Building Systems.*

Fig.36. PICTOR. Consulta web <http://www.clkerjantzen.com/pictor>

Fig.37. Robot GGR. *Revista ICE -Automation construction in Japan.*

Fig.38. Robot Brokk. *Revista ICE-Automation construction in Japan*

Fig.39. ERO Concrete Recycling Robot. Consulta web <http://www.plataformaarquitectura.cl>

Fig.40. TITAN XI. *Development of TITAN XI.Tokyo Instute of Technology.*

Fig.41. Rover y Spot. Consulta web <http://www.thebusinessofrobotics.com>

Fig.42. Robotic Tracking System. Consulta web <http://qbotix.com>

Fig.43. *Semi automated mason*. Consulta web <http://www.construction-robotics.com>

Fig.44. ROB. *Tobias Bonwetsh, Fabio Gramazio and Matthias Kohler. R-O-B Toward a Bespoke Building Process.*

Fig.45. dinROB. *Volker Helm, Selen Ercan, Fabio Gramazio and Matthias Kohler. Mobile Robotic Fabrication on Construction Sites: dinROB.*

Fig.46. Power Effector. *Exoskeleton and humanoid robotic technology in construction and built environment.*

Fig.47. Power Assit Globe. *Exoskeleton and humanoid robotic technology in construction and built environment*

Fig.48. Walking Assit y Smart Suit. *Exoskeleton and humanoid robotic technology in construction and built environment.*

Fig.49. Robot Suit Hal. *Exoskeleton and humanoid robotic technology in construction and built environment.*

Fig.50. HRP-2 Promet. *Exoskeleton and humanoid robotic technology in construction and built environment.*

Fig.51. Robot DARPA. *Robots on the jobsite advancing in construction.*

CAPITULO 5: PROCESOS DE AUTOMATIZACION EN EDIFICACION

Fig.52. Imagen del Joruku Bank con el sistema SMART. *Development and application of the Smart System.*

Fig.53. Constitución del sistema SMART. *Development and application of the Smart System.*

Fig.54. Imagen interior de la plataforma SMART. *Development and application of the Smart System.*

Fig.55. Imagen New Smart System. Consulta web <http://www.shimiz-global.com>

Fig.56. Perspectiva de un edificio ejecutado mediante el sistema ABCS. *Application of the automatic building construction system.*

Fig.57. Imagen exterior del SCF. *Application of the automatic building construction system for high-rise office building.*

Fig.58. Imagen en el interior del SCF. *Application of the automatic building construction system high-rise office building.*

Fig.59. Sala de control del sistema. *Construction Robots-The Search for new building.*

Fig.60. Sección del esquema de trabajo de un edificio. *Application of the automatic building construction system high-rise office building.*

Fig.61-62. Esquema de trabajo Big Canopy. *Present Circunstances of an automated construction system for high-rise reinforced concrete buildings.*

Fig.63a y b. Evolución de la construcción en el sistema AMURAD. *Advanced Construction and Building Technology for society.*

Fig.64. Edificio en ejecución mediante sistema T-UP. *Construction Robots- The Search for new building.*

Fig.65. Imagen del Sekai Bunk Sha construido por MCCS.

Fig.66. Sistema AKATSUKI 21. *Development of automated weather unaffected building construction system.*

Fig.67a. Modelo de vivienda estandarizado para la construcción prefabricada. Thomas Edison.

Fig.67b. Proceso de construcción de edificios de hormigón. Thomas Edison.

Fig.68. Previsión de conductos. *Automated Construction by Contour Crafting.*

Fig.69. Montaje malla de refuerzo. *Automated Construction by Contour Crafting.*

Fig.70. Alicato automatizado. *Automated Construction by Contour Crafting.*

Fig.71. Automatización de instalaciones. *Automated Construction by Contour Crafting.*

- Fig.72. Contour Crafting. Consulta web [http:// www.countourcrafting.com](http://www.countourcrafting.com)
- Fig.73. Nuevo enfoque- robótica móvil. Consulta web <http:// www.countourcrafting.com>
- Fig.74. Plataforma D-Shape. Consulta web <http://www.d-shape.com>
- Fig.75. Radiolaria. Consulta web <http://www.d-shape.com>
- Fig.76. Maquina de fabricación mediante aditivos. *Desing Potencial for Large Scale Additive Fabricación: Freeform.*
- Fig.77. Impresora KamerMaker. Consulta web <http://www.3dprintcanalhouse.com>
- Fig.78. Proyecto 3D PRINT CANAL HOUSE. Consulta web <http://www.3dprintcanalhouse.com>
- Fig.79. Sistema RCA. *Robot-based construction automation an application to steel beam assembly.*
- Fig.80. Sistema CF. *Robot-based construction automation an application to steel beam assembly.*
- Fig.81. Sistema CF antes de la elevación. *Robot-based construction automation an application to steel beam assembly.*
- Fig.82. Sistema de empernado. *Robot-based construction automation an application to steel beam assembly.*
- Fig.83. Sistema de control de empernado. *Robot-based construction automation an application to steel beam assembly.*
- Fig.84. Sistema de tranposte robótizado. *Robot-based construction automation an application to steel beam assembly Parte II.*
- Fig.85. Edificio Robot Convergence Building en Corea. *Robot-based construction automation an application to steel beam assembly.*
- Fig.86. Mini robot proyecto Termes. *Desing collective behavior in a termite-inspired robot construction team.*
- Fig.87. Sistema de ejecución de estructuras. *Desing collective behavior in a termite-inspired robot construction team.*
- Fig.88. Imagen de la estructura realizada por ACR. *Aerial Robotic Construction Toward a New Field of Architectural Research.*
- Fig.89. Imagen de los robots voladores. *Building with flying robots.*
- Fig.90. Cuadrucopteros para estructuras tensibles. *Building tensible Structures with Flying Machines.*
- Fig.91. Tiger Stone. Consulta web <http://www.tiger-stone.com>

Fig.92-93. Automatización de fachadas. Automatización de la construcción. Caso práctico.

Fig.94. Imágenes de la demolición de la seda de Kajima. *A New demolition method for tall Buildings. Kajima Cut&Take Down Method.*

Fig.95. Comparación demolición convencional y sistema Daruma. Consulta web www.kajima.co.jp

Fig.96. Esquema de demolición de Kajima. Consulta web [http:// www.kajima.co.jp](http://www.kajima.co.jp)

Fig.97. Ejecución del muro central y estructura de transferencia de cargas. Consulta web [http:// www.kajima.co.jp](http://www.kajima.co.jp)

Fig.98. Paso 1. Colocacion de los gatos. *A New demolition method for tall Buildings. Kajima Cut&Take Down Method.*

Fig.98-b. Imagen de los gatos hidráulicos del sistema Daruma. *A New demolition method for tall Buildings. Kajima Cut&Take Down Method.*

Fig.99. Paso 2. Elevación de los gatos. *A New demolition method for tall Buildings. Kajima Cut&Take Down Method.*

Fig.100. Paso 3. Descenso de los gatos hidráulicos. *A New demolition method for tall Buildings. Kajima Cut&Take Down Method.*

Fig.101. Paso 4. Retirada de vigas y forjados. *A New demolition method for tall Buildings. Kajima Cut&Take Down Method.*

Fig.102. Esquema de trabajo de Daruma. *A New demolition method for tall Buildings. Kajima Cut&Take Down Method.*

Fig.103. Fotografías de la demolición de Kajima Corporation. *A New demolition method for tall Buildings. Kajima Cut&Take Down Method.*

Fig.104. Esquema de los componentes de TECOREP SYSTEM. *Tecorep System.*

Fig.105. Esquema de demolición. *A new demolition system for high-rise buildings.*

Fig.106-108. Proceso de demolición mediante TECOREP SYSTEM. *A new demolition system for high-rise buildings.*

CAPITULO 6: ESTADO DE LA ROBÓTICA Y LA AUTOMATIZACIÓN EN ESPAÑA

Fig.109. Grupos de investigación españoles en robótica . *Libro Blanco de la Robótica*.

Fig.110. Número de patentes españolas en robotica de servicios profesionales. *Libro Blanco de la Robótica*.

Fig.111. Proyecto Rocco. *Laboratorio Robotics Lab, Universiad Carlos III*.

Fig.112. Bart 4. *Laboratorio Robotics Lab, Universiad Carlos III*.

Fig.113. Robot Roma 2. *Laboratorio Robotics Lab, Universiad Carlos III*.

Fig.114. Roboclimber. *Roboclimber Control System Architecture*.

Fig.115. iFork. Consulta web <http://www.robolab.inf.um.es>

Fig.116. WatchBot. *Webs.uvigo.es*

Fig.117. Resumen de lineas de investigación en España. *Libro Blanco de la Robótica*.

CAPITULO 7: PERSPECTIVAS FUTURAS

Fig.118 a y b .Imagen de una etiqueta RFID. Consulta web [ttp://mundorfid.com](http://mundorfid.com)

CONTENIDO DEL CD

12

12. CONTENIDO CD

En la versión digital del presente trabajo entregada en soporte CD se adjunta el siguiente archivo que se corresponde fielmente con la copia entregada en papel:

FerreiroBello_Noelia_TFM_MUTES_2014.pdf

